



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.

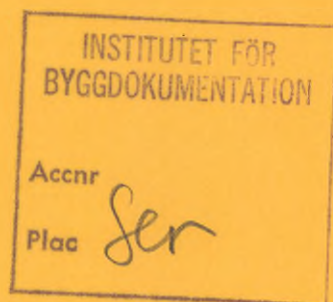


Rapport

R98:1986

# Klimatförutsättningar för lufttridåportar

Roger Taesler



Byggeforskningsrådet

R98:1986

## KLIMATFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR LUFTRIDÅPORTAR

Roger Taesler

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831406-6 från Statens råd för byggnadsforskning till AB Bahco Ventilation och SMHI.

## REFERAT

Rapporten behandlar först grundläggande klimatförhållanden av betydelse för luftridåportars funktion och energiförluster. Exempel redovisas på speciellt utvecklad statistik över samvariationen av vindriktning, vindhastighet och utetemperatur. Beräkningar har utförts av genomsnittlig, nominell energiförlust vid öppen port utan luftridå på basis av observationer under perioden 1955-75 för olika orter i landet.

Därefter redovisas mätningar av lokala och byggnadsknutna effekter på vind- och temperaturförhållanden vid en anläggning i Linköping. Speciellt vindförhållandena visar stora förändringar såväl på den lokala omgivningen som direkt orsakade av byggnaden.

Projektet har utförts av SMHI som en del av ett större projekt för undersökning av energibesparing vid användande av luftridåportar i samarbete med AB Bahco Ventilation och institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH.

I Bygghörsningsrådens rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R98:1986

ISBN 91-540-4623-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

## INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	3
INLEDNING	9
1. GRUNDLAGGANDE KLIMATFÖRUTSÄTTNINGAR	10
1.1 Allmänt	10
1.2 Statistiska data över samvariation av vind och temperatur	10
1.2.1 Beräkningsunderlag	10
1.2.2 Resultat	
2. NOMINELL ENERGIFÖRLUST VID ÖPPEN PORT	16
2.1 Allmänt	16
2.2 Energiförlust vid öppen port	16
2.2.1 Definition av nominell energiförlust	16
2.2.2 Beräkningsresultat	17
3. MÄTNINGAR VID MOTORCENTRUM, LINKÖPING	23
3.1 Bakgrund och syfte	23
3.2 Mätplatsen	23
3.3 Mätutrustning och givarplacering	25
3.3.1 Instrument	25
3.3.2 Mätstrategi och givarplacering	26
4. RESULTAT FRÅN MÄTNINGARNA VID MOTORCENTRUM	28
4.1 Jämförelser Malmslätt-Tornbyområdet	28
4.1.1 Temperatur	28
4.1.2 Vind	31
4.2 Byggnadens inverkan på vind- och temperaturförhållandena	38
4.2.1 Vindriktning	38
4.2.2 Vindhastighet	42
4.2.3 Turbulenta vindfluktuationer intill byggnaden	49
4.3 Utetemperatur	55
LITTERATUR	58



## SAMMANFATTNING

I rapporten redovisas arbeten utförda vid SMHI på uppdrag av AB Bahco Ventilation inom ramen för ett FoU-samarbete mellan AB Bacho, institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik vid KTH samt SMHI rörande energibesparing vid användande av luft-ridåportar. Funktionen hos en luft-ridåport har behandlats i en tidigare rapport [1] där också resultat redovisas från beräkningar och experimentella undersökningar i modell och i full skala av energiförlusten vid olika utformning av porten. Föreliggande rapport behandlar de yttre klimatförhållanden, som påverkar portens funktion. I arbetet har ingått följande moment.

1. Utveckling och produktion av speciell klimatstatistik över samvariation av vind och temperatur i olika delar av landet.
2. Beräkning av nominell energiförlust för en öppen port i olika delar av landet.
3. Mätningar av vind- och temperaturförhållanden vid fullskalanläggning (Motorcentrum, Linköping).
4. Analys av lokala och byggnadsknutna effekter på vind- och temperaturförhållandena.

### 1. Data över samvariationen av vind och temperatur

Datorprogram har utvecklats för beräkning av förekomsten av olika kombinationer av vindhastighet och vindriktning samt lufttemperaturens medelvärde vid varje sådan kombination. Som underlag för beräkningarna har använts timobservationer från ett 30-tal stationer i landet under åren 1955-75.

Resultaten redovisas i form av frekvenstabeller för varje månad, exemplifierade i figur A. Tabellen innehåller frekvenser dels för hela dygnet (kl 01-24) dels för dagtid (kl 07-18) samt motsvarande medeltemperaturer.

En metod att grafiskt representera speciellt temperaturförhållandena vid olika vindriktningar och vindhastigheter exemplifieras i figur B. Som framgår av figur B uppträder stora systematiska skillnader i temperatur vid olika vindförhållanden.



FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING FÖR DYGNET (ÖVRE VÄRDE) OCH FÖR DAGEN MELLAN 07-18 (NEDRE VÄRDE). TALEN I TIONDELS PROMILLE  
TEMPERATUREN TILL VÄNSTER ÄR MEDELVÄRDET FÖR HET DYGNET, TEMPERATUREN TILL HÖGER MEDELVÄRDET FÖR DAGEN (07-18)

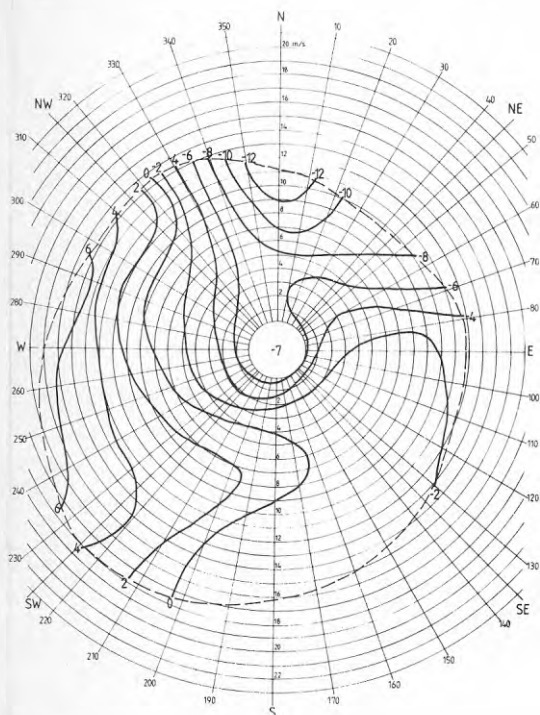
STATION: 502 LINKÖPINGS FLYGPLATS

PERIOD: 1955 - 1975

RIKTN LUGT	LUGT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	SUMMA MEDEL
	697																			697
	334																			334
	-7 -7																			-7 -7
01-03		213	193	137	34	7														584
		115	99	72	22	5														312
		-5 -5	-6 -6	-8 -8	-9 -10	-6 -8														-7 -6
04-06		260	231	105	22	4														622
		134	121	65	12	2														335
		-5 -5	-5 -5	-6 -6	-7 -6	-8 -8														-5 -5
07-09		290	244	113	30	9	4													690
		137	134	56	14	3	3													349
		-4 -5	-3 -3	-3 -3	-2 -2	-1 -1	-3 -2													-4 -4
10-12		247	196	92	17	3	1													555
		127	94	50	12	3	1													286
		-2 -2	-2 -1	-2 -2	-1 -1	-1 -1	-3 -3													-2 -2
13-15		197	197	118	46	12	1	1												571
		112	109	68	27	5														321
		-2 -2	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	2	-2												-2 -1
16-18		245	277	205	91	30	5	2	1											854
		123	144	107	57	16	2	2												451
		-3 -3	-1 0	0 1	0 0	-1 -1	-1 -2	-1 -1	-1											-1 -1
19-21		234	271	281	167	68	12	1		1										1034
		114	152	141	70	31	7	1												337
		-5 -5	-1 -1	1 1	2 2	2 3	3 3	-1 -1												-1 -1
22-24		309	439	306	160	79	24	5	1	1										1323
		156	243	170	87	41	14	3	3											714
		-5 -5	-2 -2	0 0	2 2	3 3	3 3	7 7	3	6 8										-1 -1
25-27		254	457	434	198	74	19	12	1											1450
		132	276	253	113	43	9	3												830
		-5 -5	-3 -2	-1 -1	1 2	3 3	5 5	5 4	6											-2 -1
28-30		156	267	150	57	21	1	2												590
		85	95	83	34	11														311
		-6 -6	-3 -3	-1 -2	-1 -1	0 0	4 4	7												-3 -3
31-33		174	123	88	36	7	1	1												428
		96	68	49	18	5	1	1												238
		-6 -6	-5 -6	-3 -3	-3 -2	0 0	2 2	3 3												-5 -5
34-36		249	210	98	30	13	1													601
		150	117	61	16	5	1													349
		-7 -7	-7 -6	-7 -7	-8 -10	-12 -12	-12 -12													-7 -7
S-DYGN	697	2827	3045	2123	885	326	68	24	3	1										10000
S-DAG	334	1402	1653	1175	502	171	39	11	1											5367
MEDEL	-7 -7	-5 -5	-5 -5	-2 -2	-0 -0	1 1	2 2	5 3	5	4 8										

REF: SMHI - HAA719

Linköping  
Januari



FIGUR B. Exempel på grafisk representation av temperaturvariation med vindriktning och vindhastighet baserad på medeltemperaturer enligt figur A (dygnet).



## 2. Nominell energiförlust vid öppen port

Luftväxlingen genom en öppen port p g a yttre vindtryck och temperaturdifferens ute-inne orsakar en värmeförlust  $w$  (kW). Denna förlust har beräknats för ett definierat referensfall med användande av de meteorologiska timobservationerna av vind och lufttemperatur under perioden 1955-75. Innetemperaturen har antagits konstant  $= +18^{\circ}\text{C}$ . Luftväxling och effektförlust har beräknats och summerats för alla timmar med vindriktningar inom  $180^{\circ}$ -sektorer (motsvarande  $\pm 90^{\circ}$  omkring fasadnormalens riktning) samt för alla timmar med vindstilla. Beräkningarna har utförts för  $180^{\circ}$ -sektorer successivt förskjutna med  $60^{\circ}$ . Resultaten redovisas för varje  $180^{\circ}$ -sektor i form av tabeller innehållande dels förekomsten av olika kombinationer av vindhastighet och lufttemperatur dels den summerade energiförlusten för varje temperatur respektive vindhastighetsintervall samt den totala genomsnittliga månatliga respektive årliga energiförlusten för en viss  $180^{\circ}$ -sektor. Årsförlusterna för olika orter i landet har sammanställts i figur C. Tabellen kommenteras närmare i rapporten.

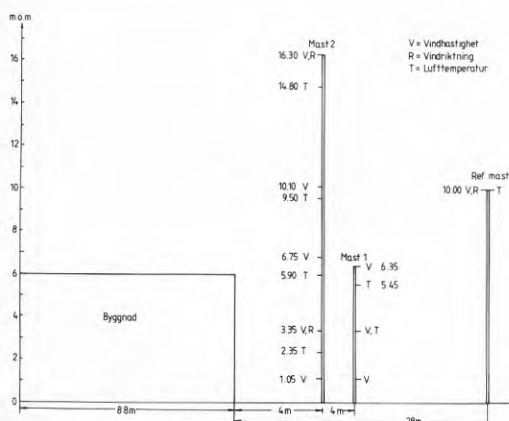
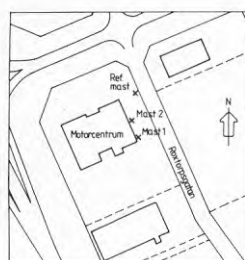
Ort	Period	A MWh år	B Procent av A Vindriktningssektorer						
			lugnt	0-180 <sup>o</sup>	60-240 <sup>o</sup>	120-300 <sup>o</sup>	180-360 <sup>o</sup>	240-60 <sup>o</sup>	300-120 <sup>o</sup>
Kiruna	1957-75	7075	19	67	117	125	133	83	75
Luleå		5787	15	75	80	87	125	120	113
Umeå	1962-75	5295	17	80	82	86	118	116	112
Östersund		5503	14	94	99	114	106	101	86
Sundsvall	1962-75	5233	28	81	72	76	119	128	124
Söderhamn	1962-75	4457	9	61	65	125	139	135	75
Uppsala		4607	10	75	95	101	125	105	99
Arlanda		4937	13	87	88	106	113	112	94
Bromma		4327	12	79	89	111	121	111	89
Tullinge		4123	19	79	98	106	121	102	94
Västerås	1962-75	4471	12	87	88	96	113	112	104
Härsfjärden		3855	10	75	92	106	125	108	94
Karlsborg		4714	4	87	96	107	113	104	93
Sätenäs		4413	5	103	116	108	97	85	92
Norrköping		4471	9	84	79	106	116	121	94
Linköping		4104	7	80	96	121	120	104	79
Nyköping		3996	11	80	78	109	120	122	91
Torslanda		5378	5	105	106	112	95	94	89
Kalmar		4216	6	82	86	103	118	114	97
Ronneby		3588	8	87	87	98	113	113	102
Halmstad		4359	7	103	105	107	97	95	93
Ängelholm		4350	6	105	108	103	95	92	97
Ljungbyhed		3764	14	89	106	119	111	94	81
Visby		5099	3	85	106	109	115	94	91
Bulltofta		1955-72	4825	6	95	106	102	105	94

FIGUR C. Sammanställning av beräknad nominell årlig energiförlust för öppen port på grund av vind- och temperaturpåverkan. Klimatdata från timsynopstationer 1955-75 eller under angiven period.

- Medelvärde (MWh/år) för alla  $180^{\circ}$ -vindriktningssektorer inklusive lugnt.
- Relativ energiförlust i procent av värdet enligt A vid vindriktningar inom sex olika  $180^{\circ}$ -sektorer, förskjutna  $60^{\circ}$ , inklusive vindstilla.

### 3. Mätningar vid Motorcentrum, Linköping

En nyuppförd anläggning i Tornbyområdet i Linköping valdes som försöksobjekt för fullskalestudier av en lufttridåport. Anläggningens läge samt instrumentplacering för uteklimatmätningarna framgår av figur D.



FIGUR D. Mätpunkter och mätnivåer vid försöksanläggningen Motorcentrum i Linköping.

Närmaste meteorologiska timobservationsstation är Malmslätts flygplats 5 km SV om mätplatsen. Vind- och temperaturobservationerna från Malmslätt har jämförts med samtida lokala mätdata från Tornby för att belysa representativiteten hos de förstnämnda. Resultaten visar relativt små avvikelser ifråga om lufttemperaturen men stora och systematiska skillnader i vindhastighet. Förändringen i vindhastighet mellan Malmslätt och Tornby har visats kunna förklaras som funktion dels av omgivningens egenskaper (skrovlighetsparametern  $z_0$ ) på de båda platserna dels av den vid ett visst tillfälle rådande atmosfäriska skiktningstypen ("Pasquill-Turner"-klassen). Härvid har använts en tidigare i annat sammanhang utvecklad metod för omräkning av vindhastigheten från en meteorologisk station till en lokal plats. Lineär regression på uppmätta ( $\bar{u}_{T,m}$ ) och beräknade ( $\bar{u}_{T,b}$ ) vindhastigheter (tiominutersmedelvärden) i Tornby ger

$$\bar{u}_{T,b} = 0.22 + 0.962 \bar{u}_{T,m}; \quad (1)$$

korrelationskoefficienten är  $r = 0.91$  och standardavvikelseerna  $\sigma_b = 1.37 \text{ ms}^{-1}$  respektive  $\sigma_m = 1.29 \text{ ms}^{-1}$ .

#### 4. Byggnadens inverkan på vind- och temperaturförhållandena nära fasaden

Mätningarna i skiktet under respektive över taknivån (6 m ö m, jfr figur D) har analyserats i detalj för att dokumentera av byggnaden direkt orsakade förändringar i vindriktning, vindhastighet och turbulensintensitet samt lufttemperatur.

Ovanför hustaksnivå (10 respektive 16 m ö m) visar resultaten att luftströmningen är i stort sett opåverkad av byggnaden. Vid och under taknivån är strömningen däremot mycket starkt påverkad.

Figur E visar hastighetskvoten i olika mätpunkter relativt referensvinden 10 m ö m som funktion av anblåsningsriktningen mot fasaden.

Figuren visar relativt tydliga systematiska rikttningsberoende variationer i hastighetskvoten. Speciellt vid nära vinkelrät strömningsriktning mot eller från fasaden visar punkterna stor spridning. En närmare analys härav visar att kvoten varierar systematiskt med vindhastigheten. Hastighetsberoendet har helt olika karaktär vid vind mot respektive från fasaden.

Turbulensintensiteten har beräknats som

$$i = \frac{\sigma_u}{\bar{u}} \quad (2)$$

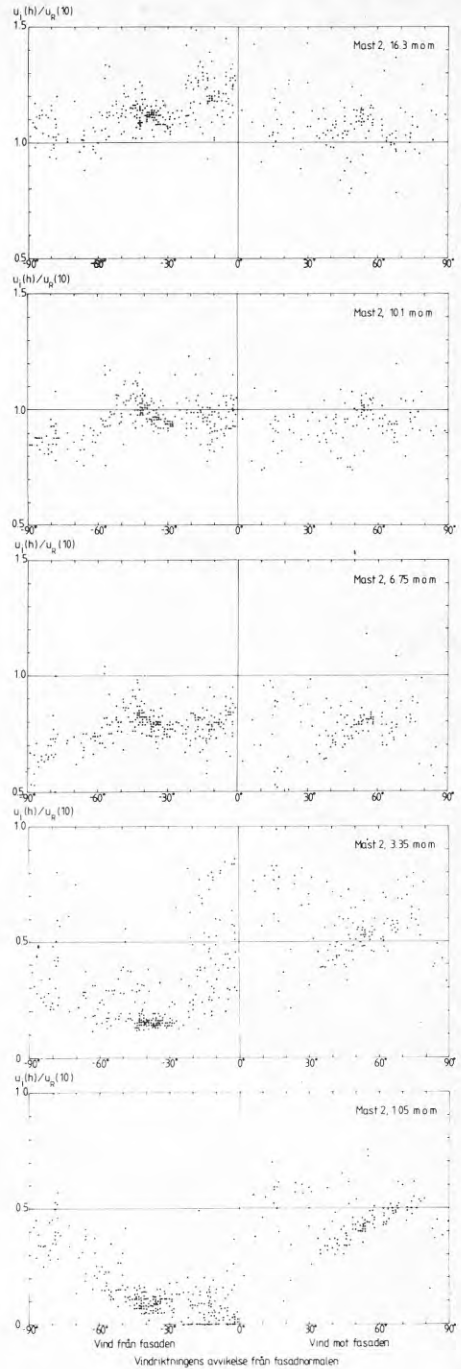
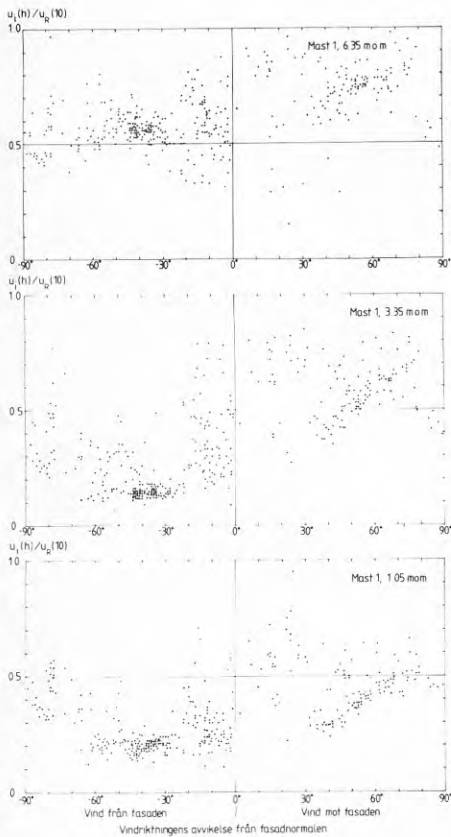
där  $\sigma_u$  och  $\bar{u}$  avser en samplingsperiod av fyra minuter och en samplingsfrekvens av 1 värde/12 s. Över taknivån (10 m respektive 16 m) erhöles ett approximativt konstant värde  $i \approx 0.15$  för vindhastigheter  $\bar{u} \geq 1 \text{ ms}^{-1}$ . Under taknivån (3.35 m ö m) erhöles  $i \approx 0.35$ .

Vindriktningen under taknivå visar extremt stora fluktuationer i jämförelse med vindriktningen i referensmasten både vid vind mot och från fasaden.

Lufttemperaturen påverkades i genomsnitt endast obetydligt av byggnaden själv. Vid klar eller nästan klar himmel har dock en temperaturökning på 1-1.5°C konstaterats nära den solbelysta fasaden trots relativt frisk vind. Temperaturöverskottet bestod under närmare sex timmar efter det att fasaden hamnat i skugga.

Byggnadens närmaste omgivning utgörs av mycket gles 1-2 våningsbebyggelse som i sig ej tycks ge upphov till någon påtaglig värmeö-effekt. Mätningarna tyder dock på att en viss lokal temperaturförhöjning kan uppkomma som ett resultat av transport av varmare luft från tätare bostadsbebyggelse på ca 300 m avstånd.

FIGUR E. Uppmätta värden på kvoten mellan vindhastighet på olika nivåer under och över taknivån på 4 m från fasaden och i referenspunkten 10 m ö m vid olika anblåsningsriktning mot fasaden.



## INLEDNING

Luftutbyte och därmed sammanhängande energiförluster vid användande av luftridåport har undersökts av Bahco Ventilation AB i samarbete med KTH, institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, och SMHI.

SMHI:s medverkan i projektet har omfattat,

- 1<sup>o</sup> bearbetningar av mångåriga observationsserier från orter i olika delar av landet i syfte att framtaga speciell statistik över klimatförutsättningarna för luftridåportars funktion,
- 2<sup>o</sup> fältmätningar av lokala vind- och utetemperaturförhållanden i samband med fullskaleförsök med luftridåport i Linköping (Motorcentrum),
- 3<sup>o</sup> mätningar av hastighets- och temperaturfördelning i luftridån samt i lokalen och utanför byggnaden för studier av luftridåns funktion under olika yttre betingelser.

Resultaten från de sistnämnda mätningarna har redovisats i huvudrapporten [ 1 ]. I föreliggande rapport redovisas resultaten från de två första arbetsmomenten.

Rapportens syfte är,

- att redovisa innehållet och presentationssättet för den speciella klimatstatistik, som framtagits i projektet,
- att redovisa beräkningar av *nominell energiförlust* för luftridåportar i olika delar av landet i form av ett grundvärde för ett definierat referensfall,
- att belysa vissa möjligheter till beräkning av lokalt korrigerad vindstatistik,
- att dokumentera exempel på byggnadsknutna effekter på vind- och temperaturförhållandena.



## 1. GRUNDLÄGGANDE KLIMATFÖRUTSÄTTNINGAR

### 1.1 Allmänt

Den vid ett visst tillfälle rådande meteorologiska situationen kännetecknas bl a av att relativt enhetliga förhållanden ifråga om temperatur, fuktighet m m råder inom stora delar av landet. Förändringar från en dag till nästa sammanhänger i stor utsträckning med storskaliga meteorologiska skeenden, varvid luftmassor med olika ursprung (arktiska, subtropiska, maritima, kontinentala) införs över hela eller delar av landet. Införseln av en viss typ av luftmassa är ofta förenad med vindriktningar inom en relativt begränsad sektor. Härigenom uppvisar temperaturförhållandena under en viss årstid en utpräglad samvariation med vindriktningen. Mönstret kompliceras dock av att vindhastigheten i sin tur även inverkar på lufttemperaturen i atmosfärens lägsta skikt. Vidare är skillnaderna i temperatur mellan olika luftmassor betydligt mer utpräglade under vintermånaderna än sommartid.

### 1.2 Statistiska data över samvariation av vind och temperatur

För beräkning av bl a årlig energiförlust för en lufttridåport behöver man statistiska data över förekommande vind- och temperaturförhållanden. I "Klimatdataboken" [ 5 ] finns data över samvariationen av vindhastighet och vindriktning respektive vindhastighet och temperatur. Däremot finns ingen tillgänglig statistik över samvariationen av alla tre klimatparametrarna vindhastighet, vindriktning och lufttemperatur.

För att dokumentera ovan skisserade förhållanden statistiskt har en speciell typ av frekvenstabeller utvecklats i samband med projektet. Datorprogram har utarbetats för beräkning av frekvenser av viss vindhastighet och vindriktning samt medeltemperatur vid respektive kombination av hastighet och riktning för varje kalendermånad.

Data har beräknats för varje kalendermånad, avseende dels dagtid (kl 07-18) dels dygnet som helhet. Frekvenserna anges i 10 000-delar av tiden (antal timmar) under respektive månad. Årstabeller har producerats över samvariation av riktning och hastighet men utan medeltemperaturdata.

#### 1.2.1 Beräkningsunderlag

Grunddata för tabellerna samt beräkningarna enligt 1.3 nedan utgörs av meteorologiska timobservationer, s k timsynop-observationer, från stationer i hela landet under perioden 1955-75. För några stationer har dock kortare perioder använts. Totalt finns timvisa data tillgängliga på magnetband vid SMHI för ett 30-tal stationer.

Observationerna utförs enligt meteorologisk standard, vilket bl a innebär att data avser medelvärden för en tiominutersperiod närmast före varje hel timme. Vindhastighet och vindriktning mätes på höjden 10 m ö m medan lufttemperatur mätes 1.5-2 m ö m.

Beräkningarna har så gott som uteslutande baserats på data från flygplatser. Anledningen härtill är främst att omgivningsegenskaper och instrumentplacering vid flygplatserna är mest väldefinierade och ger inbördes bäst jämförbara data.

Timobs materialet innehåller i vissa fall luckor såtillvida att vissa nattobservationer ej alltid utföres. Detta kan för vissa orter innebära att förhållandena under dagtid blir något överrepresenterade i årssummorna, se vidare avsnitt 1.2.2.

### 1.2.2 Resultat

Det samlade tabellmaterialet över samtidig vindriktning, vindhastighet samt tillhörande medeltemperaturer är alltför omfattande för att inkluderas i denna rapport. I figur 1 a,b och figur 2 ges några exempel på tabellutskriften jämte kommentarer samt exempel på grafisk presentation av tabellinnehållet.

Tabellerna i figur 1 a,b avser Linköping (Malmslätt), månaderna januari, april, juli samt oktober. Vindriktningen är indelad i  $30^{\circ}$ -intervall, som anges vertikalt (01-03, 04-06 etc) i totala grader (dekagrader). Vindhastigheten är indelad i intervall om  $2 \text{ ms}^{-1}$  (01-02, 03-04) där klassen 01-02 omfattar hastighetsintervallet  $0.5-2.4 \text{ ms}^{-1}$ , etc.

Förekomsten av varje kombination av riktning/hastighet anges i frekvenser i 10 000-delar av det totala antalet observationer under perioden 1955-75. Det övre frekvenstalet avser hela dygnet, det undre avser dagtid (kl 07-18). Under dessa frekvenstal anges medeltemperaturerna vid varje vindkombination, varvid värdet till vänster avser dygnet och värdet till höger dagen.

Summa-frekvenser för varje riktnings- respektive hastighetsintervall anges horisontellt respektive vertikalt tillsammans med motsvarande medeltemperaturer.

Totalsummor över året anges nederst till höger. Summan för dygnet utgör 10 000 enheter. Summan för dagtid borde utgöra 5 000 enheter. På grund av att vissa nattobservationer ej alltid utförs, kommer observationerna under dagtid emellertid att utgöra något mer än hälften av totalantalet. För att eliminera sådana och andra effekter av luckor i observationsmaterialet finns idag rutiner för interpolation av saknade observationer. Dessa rutiner har dock inte tillämpats vid beräkningen av tabellerna i samband med detta projekt.

Frekvenstabeller av det slag, som exemplifierats, kan även beräknas för enskilda år och/eller för andra tidsintervall under dygnet. Resultaten kan produceras i tabellform eller på datormedium ( $\frac{1}{2}$ "-band eller flexskiva).

Tabellerna har ett betydande informationsinnehåll och kan utgöra basen för olika typer av beräkningar bl a av byggnaders energiomsättning. Med hjälp av korrektionssamband för lokala klimat-effekter kan även lokalt representativa tabeller produceras.



Tabellerna är i sig tämligen svåröverskådliga. Det samlade informationsinnehållet är för komplext för att medge en enkel grafisk representation. Delar därav kan emellertid enkelt åskådliggöras, t ex som vindrosor i form av polära stapeldiagram. En intressant möjlighet till grafisk presentation av samvariationen av vindriktning, vindhastighet och temperatur exemplifieras i figur 2. Här har medeltemperaturerna för varje riktnings- och hastighetsklass under en viss månad plottats i ett polärt diagram. Vindriktningen är avsatt runt periferien och vindhastigheten radiellt. Temperaturfältet har därefter analyserats med isotermer för varannan °C. Dessa analyser ger en enkel översikt över samspelet vind-temperatur. Som framgår av figur 2 råder t ex under vintern (januari) mycket stora skillnader i temperaturförhållandena vid olika riktningar men också vid olika vindhastigheter.

Analysen av den i figur 2 exemplifierade typen måste dock kombineras med data över förekomsten av olika vindar. I annat fall kan man lätt dra felaktiga slutsatser. Exempelvis framgår ur figur 2 att nordvindar i januari (liksom under övriga vintermånader) är mycket kallare än övriga vindar. Man skulle härur kunna dra slutsatsen att det i bebyggelseplaneringen är väsentligt ur energisynpunkt eller med hänsyn till komfortförhållandena utomhus att skapa skydd mot nordliga vindar. En närmare granskning av tabellen i figur 1a visar emellertid att dessa vindar är sällsynt förekommande och förhållandevis svaga. Väst- och sydvindar å andra sidan är ca dubbelt så vanliga och dessutom betydligt kraftigare. De i avsnitt 2 redovisade beräkningarna av nominell energiförlust för en öppen port visar t ex att portar i norr-fasader i regel ej har de största förlusterna. Analogt visar beräkningar av ofrivillig ventilation i småhus - utförda med SMHI:s ENLOSS-modell - att de största värmeförlusterna i Norrköpingsområdet sammanhänger med vindar från SV-V [7].

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING FÖR DYNET (ÖVRE VÄRDE) OCH FÖR DAGEN MELLAN 07-18 (NEDRE VÄRDE). TALEN I TIONDELS PROMILLE  
TEMPERATUREN TILL VÄNSTER ÄNGER MEDELVÄRDET HELA DYNET, TEMPERATUREN TILL HÖGER MEDELVÄRDET FÖR DAGEN (07-18)

STATION: 562 LINNÖFJÄRS FLYGPLATS

MÄNAD: 1 PERIOD: 1955 - 1975

RIKTN	LUGT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	SUMPOR
LUGT																				MEDEL
	697																			697
	334																			334
	-7																			-7
01-03		215	101	137	34	7														584
		115	99	72	22	5														312
		-5	-5	-6	-6	-8	-8	-9	-10	-6	-8									-7
04-06		240	231	105	22	4														622
		134	121	65	12	2														355
		-5	-5	-5	-5	-6	-6	-7	-6	-8	-8									-5
07-09		200	244	113	30	9	4													490
		137	154	54	14	5	3													349
		-4	-5	-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1	-3	-2								-4
10-12		247	196	92	17	5	1													555
		127	94	50	12	3	1													286
		-2	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-3	-3								-2
13-15		197	197	118	46	12	1	1												571
		112	109	68	27	5														321
		-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	-2								-2
16-18		245	277	203	91	30	5	2	1											854
		123	144	107	57	16	2	2												451
		-3	-3	-1	0	0	0	0	-1	-1	-2	-1	-1							-1
19-21		234	271	201	167	69	12	1												1634
		114	152	141	70	31	7	1												537
		-5	-5	-1	-1	1	2	2	3	3	3	-1	-1							-1
22-24		309	419	306	180	79	24	5	1	1										1323
		156	243	170	87	41	14	3	1											714
		-5	-5	-2	-2	0	0	2	2	3	3	7	7	3	8	8				-1
25-27		254	457	434	198	74	19	12	1											1450
		132	278	253	113	43	9	5												830
		-5	-5	-3	-2	-1	-1	1	2	3	3	5	5	5	4	6				-2
28-30		156	207	150	53	21	1	2												590
		85	95	83	34	11	1	1												511
		-6	-6	-5	-5	-1	-2	-1	-1	0	0	4	4	7						-3
31-33		174	123	88	36	7	1	1												428
		98	66	49	18	5	1	1												258
		-6	-6	-5	-6	-3	-3	-3	-2	0	2	2	3	3						-5
34-36		249	210	99	30	13	1													401
		150	117	61	16	5	1													349
		-7	-7	-7	-6	-7	-7	-8	-10	-12	-12	-12	-12							-7
S-DYGN	697	2827	3045	2123	885	326	68	24	5	1										10000
S-DAG	324	1402	1653	1175	592	171	59	11	1	2	2	5	5	5	4	8				5367
MEDEL	-7	-7	-5	-5	-3	-3	-2	-2	-0	0	1	1	2	2	5	5	5	5	4	8

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING FÖR DYNET (ÖVRE VÄRDE) OCH FÖR DAGEN MELLAN 07-18 (NEDRE VÄRDE). TALEN I TIONDELS PROMILLE  
TEMPERATUREN TILL VÄNSTER ÄNGER MEDELVÄRDET HELA DYNET, TEMPERATUREN TILL HÖGER MEDELVÄRDET FÖR DAGEN (07-18)

STATION: 562 LINNÖFJÄRS FLYGPLATS

MÄNAD: 4 PERIOD: 1955 - 1975

RIKTN	LUGT	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	SUMPOR
LUGT																				MEDEL
	626																			626
	170																			170
	1																			5
01-03		325	376	174	51	14	9	3												665
		153	231	147	36	10	5	1												577
		3	4	2	4	3	4	1	2	-1	-1	-1	0	-1	-1					2
04-06		333	404	140	21	3														902
		150	244	105	15	1														518
		3	4	1	4	3	4	2	-2	-2										3
07-09		219	393	169	47	0	3													747
		80	174	132	43	0	1													441
		4	5	4	5	6	7	7	7	10	10	9	9							5
10-12		172	228	161	51	4	1													618
		60	113	113	43	1														325
		4	5	5	7	6	7	6	7	9	9	7	7							5
13-15		145	194	138	40	0	3	1												519
		51	95	98	35	0	1													288
		4	7	5	7	7	8	11	12	13	14	13	13	5						6
16-18		174	247	154	65	28	4	1												673
		66	112	85	47	22	1													353
		4	6	4	6	6	7	0	11	10	11	6	9	5						5
19-21		230	234	134	68	35	11	1												713
		65	99	72	36	29	9	1												310
		2	4	5	6	6	7	6	8	5	6	6	9	6	9					4
22-24		335	311	160	76	37	10	14	3											677
		103	132	117	36	25	12	11	3											459
		3	5	4	5	5	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4
25-27		200	424	272	139	41	17	5	3	1										1191
		102	226	187	111	27	12	4	1											684
		4	5	5	6	6	6	7	8	8	9	9	10	4	9	5	9	8		5
28-30		194	299	219	70	24	6	3	1											817
		40	200	175	58	22	6	3	1											555
		5	7	6	7	7	8	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6
31-33		174	192	92	28	0	1													494
		75	120	65	20	0	1													289
		4	6	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5	6
34-36		295	247	136	65	11	1	1												757
		135	142	103	57	4	1	1												444
		2	4	3	5	4	4	5	3	3	1	1	4	2						3
S-DYGN	626	2888	3459	1970	722	227	70	29	7	1										10000
S-DAG	170	1110	1012	1789	556	171	49	20	5											5371
MEDEL	5	5	5	5	4	5	5	6	6	7	7	8	8	5	7	7	8	8	2	

FIGUR 1a. Tabeller över samtidig förekomst (i 10 000-delar av tiden under respektive månad) av vindhastighet och vindriktning med klassmedelvärden av lufttemperatur. Data anges dels för hela dygnet (01-24) dels för dagtid (07-18). Period 1955-75, Malmslätts flygplats. Janauri, april.

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING FÖR DYGNET (ÖVRE VÄRDET) OCH FÖR DAGEN MELLAN 07-18 (NEDRE VÄRDET). TALEN I TIONDELS PROMILLE  
TEMPERATUREN TILL VÄNSTER ÄNGER MEDELVÄRDET MELA DYGNET, TEMPERATUREN TILL HÖGER MEDELVÄRDET FÖR DAGEN (07-18)

STATION: 562 LINNÖPINGS FLYGPLATS

PRÅND: 7

PERIOD: 1955 - 1975

RIKTN LUGT	VINDHASTIGHET I M/S																		SUMMA MEDEL
	01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	
550																		550	
129																		129	
15 17																		15 17	
01-03	213	225	54	12	1													506	
	117	161	43	10	1													333	
	17 18	18 19	19 19	18 19	17 17													17 19	
04-06	209	205	79	12	4													509	
	105	156	66	7	1													329	
	16 18	18 19	19 20	15 15	12 12													17 19	
07-09	188	204	100	40	5	1												538	
	83	171	79	7	5	1												324	
	17 19	18 20	19 20	19 19	16 16	15 15												18 20	
10-12	203	206	94	32	1	1												539	
	77	112	73	25	1													289	
	18 20	19 21	20 21	21 22	21 21	17												19 21	
13-15	207	193	92	24														506	
	88	112	65	22														271	
	16 19	19 20	20 21	20 21														18 20	
16-18	300	278	115	25	1	1	1											680	
	94	116	81	15	1	1	1											310	
	16 19	17 19	17 18	17 19	18 18	21 20	13 13											16 18	
19-21	399	324	163	62	8	2												937	
	101	115	99	10	7	2												384	
	14 18	15 16	16 17	16 17	17 17	17 17												15 18	
22-24	441	348	209	124	30	6	1											1468	
	112	240	179	89	30	6	1											689	
	14 16	15 17	16 17	16 17	15 16	16 17	16 16											15 17	
25-27	303	643	525	259	71	14	6											1893	
	131	324	367	160	63	12	5											1082	
	16 19	17 18	17 18	17 18	17 17	14 16	15 20											17 18	
28-30	255	372	234	52	14	3												616	
	105	244	204	67	12	3												210	
	17 18	17 19	19 19	18 19	17 17	23 20												18 19	
31-33	194	185	56	6	1													441	
	98	175	47	6	1													287	
	16 18	17 18	16 17	17 17	18 18													17 17	
34-36	255	212	45	3														514	
	156	152	39	3														369	
	16 12	16 17	17 18	19 19														16 17	
S-DYGN	550	3257	3552	1934	651	160	28	7										10000	
S-DAG	129	1267	2006	1335	490	133	25	6										5371	
MEDEL	15 17	16 18	17 18	18 18	17 18	16 17	15 18	12 16											

FREKVENSER AV VINDHASTIGHET OCH VINDRIKTNING FÖR DYGNET (ÖVRE VÄRDET) OCH FÖR DAGEN MELLAN 07-18 (NEDRE VÄRDET). TALEN I TIONDELS PROMILLE  
TEMPERATUREN TILL VÄNSTER ÄNGER MEDELVÄRDET MELA DYGNET, TEMPERATUREN TILL HÖGER MEDELVÄRDET FÖR DAGEN (07-18)

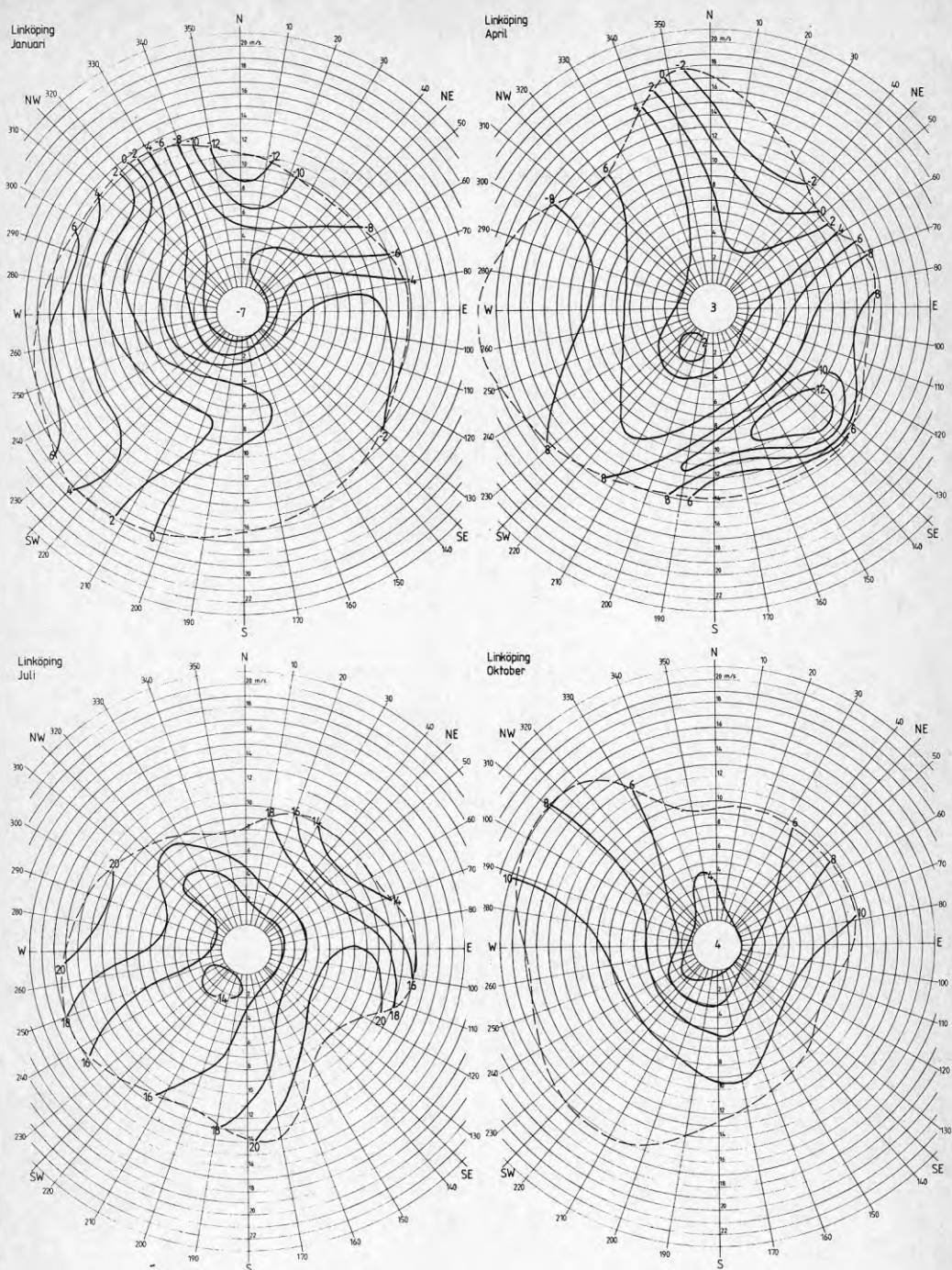
STATION: 562 LINNÖPINGS FLYGPLATS

PRÅND: 10

PERIOD: 1955 - 1975

RIKTN LUGT	LUGT 476 190 4 5	VINDHASTIGHET I M/S																		SUMMA MEDEL 476 190 4 5
		01-02	03-04	05-06	07-08	09-10	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-	
01-03		130	195	150	88	14													567	
		70	113	89	40	8													318	
		5 6	5 5	5 5	5 5	4 5													5 5	
04-06		195	151	74	25	1													447	
		101	77	42	14	1													235	
		5 6	6 6	6 6	5 5	6 6													5 6	
07-09		173	140	123	26	2													463	
		72	71	66	24	2													255	
		6 7	7 6	9 9	9 10	10 10													7 8	
10-12		158	170	65	17														370	
		77	77	44	12														209	
		6 7	8 8	10 11	11 12														8 9	
13-15		179	175	96	26	5													481	
		98	109	57	14	1													279	
		8 8	9 11	10 11	10 11	9 9													9 9	
16-18		232	331	219	101	21	1												605	
		103	149	121	73	13													470	
		6 7	7 8	8 9	9 9	10 10	6												8 8	
19-21		332	300	205	96	19	3	1											1157	
		108	140	165	64	14	2	1											534	
		5 6	7 8	9 9	10 10	9 9	10 10	10 10											7 8	
22-24		411	511	160	153	60	31	8	2										1565	
		155	261	195	92	22	15	7	2										750	
		4 6	7 8	9 9	11 11	11 12	11 12	11 11	11 11										7 8	
25-27		324	578	401	265	165	56	16											1724	
		151	343	245	142	166	34	17											1056	
		6 7	8 9	9 10	10 11	11 11	11 11	11 11											9 9	
28-30		192	396	177	76	43	12	4	1										614	
		104	195	133	50	32	8	4	1										327	
		6 7	7 8	9 9	9 10	9 10	10 10	10 10	12 12										7 8	
31-33		126	191	81	43	16	1	1	1										459	
		67	103	45	28	11	1	1	1										257	
		5 6	5 6	6 7	7 8	7 8	8 8	7 7	7 7										5 6	
34-36		189	196	86	11	10													552	
		99	115	57	23	9													327	
		4 4	4 4	5 5	5 6	5 5													4 5	
S-DYGN		476	2650	3356	2109	918	354	104	27	5									10000	
S-DAG		190	1705	1789	1292	598	135	61	25	5									5371	
MEDEL		4 5	5 6	7 8	8 9	9 10	10 10	11 11	10 10	10 10										

FIGUR 1b. Tabeller över samtidig förekomst (i 10 000-delar av tiden under respektive månad) av vindhastighet och vindriktning med klassmedelvärden av lufttemperatur. Data anges dels för hela dygnet (01-24) dels för dagtid (07-18). Period 1955-75, Malmslätts flygplats. Juli, oktober.



FIGUR 2. Grafisk representation av temperaturens variation med vindriktning och vindhastighet baserad på medeltemperaturer enligt figur 1a,b (dygnet).

## 2. NOMINELL ENERGIFÖRLUST VID ÖPPEN PORT

### 2.1 Allmänt

En luftridå, placerad i en portöppning, påverkas av vindanfall mot porten och av den tryckdifferens, som beror av temperaturskillnaden mellan lokalen och uteluften. Under givna vind- och temperaturförhållanden bestäms luftridåns funktion av portutformningen, utblåsningsriktning, -hastighet och luftflöde i ridån samt av byggnadens ventilationssystem och övriga otätheter. Teorin för funktionen hos en luftridå behandlas i huvudrapporten [ 1 ].

I samband med utarbetandet av den i föregående avsnitt redovisade klimatstatistiken har även beräkningar utförts av *nominell energiförlust* vid en oskyddad, öppen port utan luftridå för olika orter i landet. Dessa beräkningar är avsedda att utgöra underlag för inbördes jämförelser mellan olika delar av landet avseende energiförlusten för ett definierat referensfall. I huvudrapporten ges jämförelser mellan energiförlusten för referensporten och portar med olika typ av luftridå.

### 2.2 Energiförlust vid öppen port

#### 2.2.1 Definition av nominell energiförlust

Energiförlusten per tidsenhet på grund av luftbyte genom en öppen port kan skrivas:

$$w = s \times q \times \rho \times C_p \cdot \Delta T \quad (\text{kW}) \quad (2.1)$$

där

$s$  = portens relativa öppningstid

$\rho$  = luftens densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ )

$C_p$  = luftens värmekapacitet ( $\text{kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )

$\Delta T$  = temperaturdifferens ute-inne

$q$  = luftflöde ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )

$q$ , luftflödet genom porten, beräknas enligt,

$$q = \frac{\mu \cdot A \cdot v}{2} \quad (\text{m}^3\text{s}^{-1}) \quad (2.2)$$

där

$\mu$  = kontraktionskoefficient för porten

$A$  = portarea ( $\text{m}^2$ )



Storheten  $v$  i ekv. (2.2) definieras enligt,

$$v^2 = \left[ \frac{H \cdot g(\rho_{ute} - \rho_{inne})}{\rho_{ute}} + u^2 \right] \quad (2.3)$$

där

$u$  = vindhastigheten mot porten ( $\text{ms}^{-1}$ )

$H$  = portens höjd (m)

$g$  = tyngdaccelerationen ( $\text{ms}^{-2}$ )

Ekv. (2.3) innebär att  $v$  representerar en fiktiv vindhastighet motsvarande den totala tryckskillnaden mellan in- och utsida som orsakas av densitetsskillnad och yttre vindhastighet i kombination.

Beräkningarna har utförts för ett referensfall med portens höjd  $H = 6$  m och area  $A = 30$  m<sup>2</sup>. Storheterna  $s$  och  $\mu$  har båda satts = 1.0 vid beräkningarna. Innetemperaturen har antagits konstant = +18°C. Vidare har meteorologiska observationer av lufttemperatur och vindhastighet använts utan korrekationer för lokala effekter.

Vid beräkningarna har porten antagits vara placerad i en fasad orienterad mot riktningarna 30°, 90°, 150°, 210°, 270°, 330°, dvs med 60° förskjutning. Luftväxling och effektförlust har beräknats för alla timmar med vindriktningar inom den 180°-sektor, mot vilken fasaden är orienterad, samt för alla timmar med vindstilla. Härvid har observerade data på lufttemperaturen och lufttryck omvänts. Varje observation har antagits representera ett 1-timmes intervall omkring observationsterminen. För respektive orientering har energiförlusterna summerats över hela observationsperioden (i regel 1955-75), varefter månads- respektive årsmedelvärden av energiförlusten (MWh) beräknats.

### 2.2.2 Beräkningsresultat

Frekvenstabeller har producerats över förekomst av samtidig vindhastighet och utetemperatur inom 180° vindriktningssektorer successivt förskjutna med 60°. I dessa tabeller anges även den beräknade nominella energiförlusten för luftridåport summerad för varje hastighets- respektive utetemperaturintervall. Data har beräknats för varje kalendermånad samt för året som helhet dels för dagtid dels för hela dygnet. Exempel på sådana tabeller (års- tabeller, Linköping) visas i figurerna 3a-f.

FIGUR 3a-f. Tabeller över samtidig förekomst (10 000-delar av årets tid) av vindhastighet och lufttemperatur vid vindriktningar inom 180°-sektorer. Frekvenser anges för hela dygnet (01-24), övre värde, och för dagtid (07-18), undre värde.

Summor av beräknad nominell energiförlust för öppen port utan luftfridå anges under "SUM-W" (radsummer) respektive "W-DYGN" och "W-DAG" (kolumnsummer).

STATION: 562 LINKÖPING														VINDSEKTOR: 01 - 18 BEKÄGGRADER														BRET		PERIOD: 1955 - 1975			
FF	<-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	TEMPERATURINTERVALL																						SUM	SUM-W
N/S	-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	+35	+38	+41	+44	+47	+50		
LUGNT																																	
01-02							1	2	5	13	21	26	34	45	75	87	52	58	66	61	43	18	6	2	1							615	304
03-04							1	1	3	10	18	20	30	36	68	64	50	30	30	28	16	6	3	1								1340	644
05-06																																1130	285
07-08																																	
09-10																																	
11-12																																	
13-14																																	
15-16																																	
17-18																																	
S-DYGN																																	4370
S-DAG																																	4257
W-DYGN																																	3200
W-DAG																																	1635

STATION: 562 LINKÖPING														VINDSEKTOR: 07 - 24 BEKÄGGRADER														BRET		PERIOD: 1955 - 1975			
FF	<-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	TEMPERATURINTERVALL																						SUM	SUM-W
N/S	-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	+35	+38	+41	+44	+47	+50		
LUGNT																																	
01-02							1	2	5	13	21	26	34	45	75	87	52	58	66	61	43	18	6	2	1							115	304
03-04							1	1	3	10	18	20	30	36	68	64	50	30	30	28	16	6	3	1								1159	644
05-06																																	
07-08																																	
09-10																																	
11-12																																	
13-14																																	
15-16																																	
17-18																																	
19-20																																	
21-22																																	
23-24																																	
25-26																																	
27-28																																	
29-30																																	
>30																																	
S-DYGN																																	5369
S-DAG																																	4840
W-DYGN																																	3851
W-DAG																																	1844

FIGUR 3a,b. Vindriktningssektor: 10° - 180°, 70° - 240°.





STATION: 562 LINKÖPING										VINDSEKTOR: 25 - 06 DEKAGRADER										BRET										PF: 100: 1-55 - 1-75									
										TEMPERATURINTERVALL																				SUM SUP-W									
FF	<-39	-37	-34	-31	-28	-25	-22	-19	-16	-13	-10	-7	-4	-1	+2	+5	+8	+11	+14	+17	+20	+23	+26	+29	+32	+35	+38	+41	+44	+47	+50								
R/S	-39	-37	-34	-33	-30	-27	-24	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	+0	+3	+6	+9	+12	+15	+18	+21	+24	+27	+30														
LUGNT						1	2	5	13	21	26	34	45	75	87	52	58	66	61	43	17	6	2	1															
						1	1	3	10	18	20	30	36	48	63	70	30	30	28	28	16	6	1	1															
01-02							1	5	10	25	47	79	111	144	162	124	111	136	145	122	73	34	16	5															
							4	9	22	44	77	103	121	167	105	91	100	131	132	96	46	23	7	1															
03-04								1	3	15	42	80	107	154	236	179	149	167	177	154	102	48	24	7	7	1	165P	1265											
								1	3	13	41	75	114	157	235	188	157	170	198	206	158	78	40	12	3	1	185D	674											
05-06								1	2	7	23	37	57	93	141	156	93	97	111	101	60	29	10	3	1		1103	1044											
								1	2	7	22	36	61	79	152	156	115	120	149	155	100	49	18	5	1	1	1250	638											
07-08								1	2	4	8	17	28	48	59	46	48	50	46	24	8	3	1				394	515											
								1	1	2	5	8	20	31	54	70	55	62	74	76	42	14	6	2			523	320											
09-10											2	2	4	9	15	25	23	19	20	20	9	2				157	228												
											2	2	5	10	12	25	26	23	29	34	16	3	1			189	134												
11-12													1	2	3	8	9	7	5	4	2					40	71												
													2	2	8	10	8	6	6	4	1				49	62													
13-14															1	3	3	2	1	1	1					13	27												
															3	4	3	2	2	1						15	15												
15-16																	1	1										3	6										
																	1	1	1	1								1	3										
17-18																													1	3									
																														1	1								
19-20																																							
21-22																																							
23-24																																							
25-26																																							
27-28																																							
29-30																																							
>30																																							
S-BYGN						1	3	12	29	70	145	240	342	514	713	586	493	543	571	492	289	177	56	16	3	1	5246												
S-DAG						1	2	10	23	62	134	231	339	499	686	586	497	518	619	639	433	198	97	27	4	2	5561												
W-BYGN						1	2	28	57	132	275	396	502	654	781	586	367	269	170	58	16	26	16	6	2	1													
W-DAG						1	2	13	25	65	136	208	276	341	417	354	216	157	115	45	14	23	15	6	1	1													

STATION: 562 LINKÖPING										VINDSEKTOR: 31 - 12 DEKAGRADER										PRFT										PF: 100: 1-55 - 1-75																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		TEMPERATURINTERVALL																						SUM SUP-W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
FF	R/S	<-30	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	+11	+12	+13	+14	+15	+16	+17	+18	+19	+20	+21	+22	+23	+24	+25	+26	+27	+28	+29	+30	+31	+32	+33	+34	+35	+36	+37	+38	+39	+40	+41	+42	+43	+44	+45	+46	+47	+48	+49	+50	+51	+52	+53	+54	+55	+56	+57	+58	+59	+60	+61	+62	+63	+64	+65	+66	+67	+68	+69	+70	+71	+72	+73	+74	+75	+76	+77	+78	+79	+80	+81	+82	+83	+84	+85	+86	+87	+88	+89	+90	+91	+92	+93	+94	+95	+96	+97	+98	+99	+100	+101	+102	+103	+104	+105	+106	+107	+108	+109	+110	+111	+112	+113	+114	+115	+116	+117	+118	+119	+120	+121	+122	+123	+124	+125	+126	+127	+128	+129	+130	+131	+132	+133	+134	+135	+136	+137	+138	+139	+140	+141	+142	+143	+144	+145	+146	+147	+148	+149	+150	+151	+152	+153	+154	+155	+156	+157	+158	+159	+160	+161	+162	+163	+164	+165	+166	+167	+168	+169	+170	+171	+172	+173	+174	+175	+176	+177	+178	+179	+180	+181	+182	+183	+184	+185	+186	+187	+188	+189	+190	+191	+192	+193	+194	+195	+196	+197	+198	+199	+200	+201	+202	+203	+204	+205	+206	+207	+208	+209	+210	+211	+212	+213	+214	+215	+216	+217	+218	+219	+220	+221	+222	+223	+224	+225	+226	+227	+228	+229	+230	+231	+232	+233	+234	+235	+236	+237	+238	+239	+240	+241	+242	+243	+244	+245	+246	+247	+248	+249	+250	+251	+252	+253	+254	+255	+256	+257	+258	+259	+260	+261	+262	+263	+264	+265	+266	+267	+268	+269	+270	+271	+272	+273	+274	+275	+276	+277	+278	+279	+280	+281	+282	+283	+284	+285	+286	+287	+288	+289	+290	+291	+292	+293	+294	+295	+296	+297	+298	+299	+300	+301	+302	+303	+304	+305	+306	+307	+308	+309	+310	+311	+312	+313	+314	+315	+316	+317	+318	+319	+320	+321	+322	+323	+324	+325	+326	+327	+328	+329	+330	+331	+332	+333	+334	+335	+336	+337	+338	+339	+340	+341	+342	+343	+344	+345	+346	+347	+348	+349	+350	+351	+352	+353	+354	+355	+356	+357	+358	+359	+360	+361	+362	+363	+364	+365	+366	+367	+368	+369	+370	+371	+372	+373	+374	+375	+376	+377	+378	+379	+380	+381	+382	+383	+384	+385	+386	+387	+388	+389	+390	+391	+392	+393	+394	+395	+396	+397	+398	+399	+400	+401	+402	+403	+404	+405	+406	+407	+408	+409	+410	+411	+412	+413	+414	+415	+416	+417	+418	+419	+420	+421	+422	+423	+424	+425	+426	+427	+428	+429	+430	+431	+432	+433	+434	+435	+436	+437	+438	+439	+440	+441	+442	+443	+444	+445	+446	+447	+448	+449	+450	+451	+452	+453	+454	+455	+456	+457	+458	+459	+460	+461	+462	+463	+464	+465	+466	+467	+468	+469	+470	+471	+472	+473	+474	+475	+476	+477	+478	+479	+480	+481	+482	+483	+484	+485	+486	+487	+488	+489	+490	+491	+492	+493	+494	+495	+496	+497	+498	+499	+500	+501	+502	+503	+504	+505	+506	+507	+508	+509	+510	+511	+512	+513	+514	+515	+516	+517	+518	+519	+520	+521	+522	+523	+524	+525	+526	+527	+528	+529	+530	+531	+532	+533	+534	+535	+536	+537	+538	+539	+540	+541	+542	+543	+544	+545	+546	+547	+548	+549	+550	+551	+552	+553	+554	+555	+556	+557	+558	+559	+560	+561	+562	+563	+564	+565	+566	+567	+568	+569	+570	+571	+572	+573	+574	+575	+576	+577	+578	+579	+580	+581	+582	+583	+584	+585	+586	+587	+588	+589	+590	+591	+592	+593	+594	+595	+596	+597	+598	+599	+600	+601	+602	+603	+604	+605	+606	+607	+608	+609	+610	+611	+612	+613	+614	+615	+616	+617	+618	+619	+620	+621	+622	+623	+624	+625	+626	+627	+628	+629	+630	+631	+632	+633	+634	+635	+636	+637	+638	+639	+640	+641	+642	+643	+644	+645	+646	+647	+648	+649	+650	+651	+652	+653	+654	+655	+656	+657	+658	+659	+660	+661	+662	+663	+664	+665	+666	+667	+668	+669	+670	+671	+672	+673	+674	+675	+676	+677	+678	+679	+680	+681	+682	+683	+684	+685	+686	+687	+688	+689	+690	+691	+692	+693	+694	+695	+696	+697	+698	+699	+700	+701	+702	+703	+704	+705	+706	+707	+708	+709	+710	+711	+712	+713	+714	+715	+716	+717	+718	+719	+720	+721	+722	+723	+724	+725	+726	+727	+728	+729	+730	+731	+732	+733	+734	+735	+736	+737	+738	+739	+740	+741	+742	+743	+744	+745	+746	+747	+748	+749	+750	+751	+752	+753	+754	+755	+756	+757	+758	+759	+760	+761	+762	+763	+764	+765	+766	+767	+768	+769	+770	+771	+772	+773	+774	+775	+776	+777	+778	+779	+780	+781	+782	+783	+784	+785	+786	+787	+788	+789	+790	+791	+792	+793	+794	+795	+796	+797	+798	+799	+800	+801	+802	+803	+804	+805	+806	+807	+808	+809	+810	+811	+812	+813	+814	+815	+816	+817	+818	+819	+820	+821	+822	+823	+824	+825	+826	+827	+828	+829	+830	+831	+832	+833	+834	+835	+836	+837	+838	+839	+840	+841	+842	+843	+844	+845	+846	+847	+848	+849	+850	+851	+852	+853	+854	+855	+856	+857	+858	+859	+860	+861	+862	+863	+864	+865	+866	+867	+868	+869	+870	+871	+872	+873	+874	+875	+876	+877	+878	+879	+880	+881	+882	+883	+884	+885	+886	+887	+888	+889	+890	+891	+892	+893	+894	+895	+896	+897	+898	+899	+900	+901	+902	+903	+904	+905	+906	+907	+908	+909	+910	+911	+912	+913	+914	+915	+916	+917	+918	+919	+920	+921	+922	+923	+924	+925	+926	+927	+928	+929	+930	+931	+932	+933	+934	+935	+936	+937	+938	+939	+940	+941	+942	+943	+944	+945	+946	+947	+948	+949	+950	+951	+952	+953	+954	+955	+956	+957	+958	+959	+960	+961	+962	+963	+964	+965	+966	+967	+968	+969	+970	+971	+972	+973	+974	+975	+976	+977	+978	+979	+980	+981	+982	+983	+984	+985	+986	+987	+988	+989	+990	+991	+992	+993	+994	+995	+996	+997	+998	+999	+1000	+1001	+1002	+1003	+1004	+1005	+1006	+1007	+1008	+1009	+1010	+1011	+1012	+1013	+1014	+1015	+1016	+1017	+1018	+1019	+1020	+1021	+1022	+1023	+1024	+1025	+1026	+1027	+1028	+1029	+1030	+1031	+1032	+1033	+1034	+1035	+1036	+1037	+1038	+1039	+1040	+1041	+1042	+1043	+1044	+1045	+1046	+1047	+1048	+1049	+1050	+1051	+1052	+1053	+1054	+1055	+1056	+1057	+1058	+1059	+1060	+1061	+1062	+1063	+1064	+1065	+1066	+1067	+1068	+1069	+1070	+1071	+1072	+1073	+1074	+1075	+1076	+1077	+1078	+1079	+1080	+1081	+1082	+1083	+1084	+1085	+1086	+1087	+1088	+1089	+1090	+1091	+1092	+1093	+1094	+1095	+1096	+1097	+1098	+1099	+1100	+1101	+1102	+1103	+1104	+1105	+1106	+1107	+1108	+1109	+1110	+1111	+1112	+1113	+1114	+1115	+1116	+1117	+1118	+1119	+1120	+1121	+1122	+1123	+1124	+1125	+1126	+1127	+1128	+1129	+1130	+1131	+1132	+1133	+1134	+1135	+1136	+1137	+1138	+1139	+1140	+1141	+1142	+1143	+1144	+1145	+1146	+1147	+1148	+1149	+1150	+1151	+1152	+1153	+1154	+1155	+1156	+1157	+1158	+1159	+1160	+1161	+1162	+1163	+1164	+1165	+1166	+1167	+1168	+1169	+1170	+1171	+1172	+1173	+1174	+1175	+1176	+1177	+1178	+1179	+1180	+1181	+1182	+1183	+1184	+1185	+1186	+1187	+1188	+1189	+1190	+1191	+1192	+1193	+1194	+1195	+1196	+1197	+1198	+1199	+1200	+1201	+1202	+1203	+1204	+1205	+1206	+1207	+1208	+1209	+1210	+1211	+1212	+1213	+1214	+1215	+1216	+1217	+1218	+1219	+1220	+1221	+1222	+1223	+1224	+1225	+1226	+1227	+1228	+1229	+1230	+1231	+1232	+1233	+1234	+1235	+1236	+1237	+1238	+1239	+1240	+1241	+1242	+1243	+1244	+1245	+1246	+1247	+1248	+1249	+1250	+1251	+1252	+1253	+1254	+1255	+1256	+1257	+1258	+1259	+1260	+1261	+1262	+1263	+1264	+1265	+1266	+1267	+1268	+1269	+1270	+1271	+1272	+1273	+1274	+1275	+1276	+1277	+1278	+1279	+1280	+1281	+1282	+1283	+1284	+1285	+1286	+1287	+1288	+1289	+1290	+1291	+1292	+1293	+1294	+1295	+1296	+1297	+1298	+1299	+1300	+1301	+1302	+1303	+1304	+1305	+1306	+1307	+1308	+1309	+1310	+1311	+1312	+1313	+1314	+1315	+1316	+1317	+1318	+1319	+1320	+1321	+1322	+1323	+1324	+1325	+1326	+1327	+1328	+1329	+1330	+1331	+1332	+1333	+1334	+1335	+1336	+1337	+1338	+1339	+1340	+1341	+1342	+1343	+1344	+1345	+1346	+1347	+1348	+1349	+1350	+1351	+1352	+1353	+1354	+1355	+1356	+1357	+1358	+1359	+1360	+1361	+1362	+1363	+1364	+1365	+1366	+1367	+1368	+1369	+1370	+1371	+1372	+1373	+1374	+1375	+1376	+1377	+1378	+1379	+1380	+1381	+1382	+1383	+1384	+1385	+1386	+1387	+1388	+1389	+1390	+1391	+1392	+1393	+1394	+1395	+1396	+1397	+1398	+1399	+1400	+1401	+1402	+1403	+1404	+1405	+1406	+1407	+1408	+1409	+1410	+1411	+1412	+1413	+1414	+1415	+1416	+1417	+1418	+1419	+1420	+1421	+1422	+1423	+1424	+1425	+1426	+1427	+1428	+1429	+1430	+1431	+1432	+1433	+1434	+1435	+1436	+1437	+1438	+1439	+1440	+1441	+1442	+1443	+1444	+1445	+1446	+1447	+1448	+1449	+1450	+1451	+1452	+1453	+1454	+1455	+1456	+1457	+1458	+1459

FIGUR 3e,f. Vindriktningssektor: 250° - 60°, 310° - 120°.

Beräknade energiförluster har sammanställts för olika orter i tabell 1. I kolumn A anges årsmedelvärdet av den beräknade nominella energiförlusten (MWh/år) i genomsnitt för alla 180°-sektorer. Värden för viss sektor anges i procent av kolumn A. Vindriktningssektorerna i tabellen är definierad enligt ovan, dvs omspannande  $\pm 90^\circ$  omkring fasadnormalens orientering. Värdet för en viss sektor anges i procent av genomsnittet för alla 180°-sektorer för att underlätta jämförelser av graden av vind- och temperatur-exponering på en viss ort. Förlusten vid vindstilla (lugnt) redovisas i en separat kolumn men är även inkluderad i värdet för varje sektor, eftersom detta bidrag till värmeförlusten är oberoende av fasadorienteringen.

Mest och minst utsatta riktningssektorer har markerats genom kursivering av värdet i tabellen.

Absolutvärdena i tabell 1, kolumn A, är beräknade för ett visst referensfall (jfr 2.2.1) och bör endast uppfattas som en bas för jämförelser mellan olika orter och, för en viss ort, för olika portorienteringar. De inbördes relationer, som framgår av tabellen torde vara av större generellt intresse än motsvarande absolutvärden.

Av tabellen framgår bl a följande:

I norra och mellersta Sverige, ned till Mälardalen, är portöppningar orienterade mot V-NV i regel mest utsatta medan orienteringar mot O eller SO är minst utsatta. (Östersund utgör i viss mån ett undantag och har en påfallande jämn exponering).

Söder om Mälardalen är exponeringen mera varierande med maxivärden för orienteringar mellan SO (t ex Sätenäs, Ängelholm, Bulltofta) och NO (Karlstad). Portar orienterade mot O visar i inget fall något maxvärde. De är något *mer* utsatta än genomsnittet för orter vid västkusten (Torslanda, Halmstad, Ängelholm). Detta, kanske något överraskande, resultat beror på att temperaturen är väsentligt lägre vid ostvindar än vid västvindar. De senare är dessutom dominerande endast under vår- och somarmånaderna, medan riktningsfördelningen är betydligt jämnare under hösten och vintern (se [ 5 ]).

Riktningssberoendet i exponeringen är genomgående mindre utpräglat i Sydsverige än i norra och mellersta Sverige. Samtidigt är dock vindens inverkan på värmeförlusten betydligt större i Sydsverige än i övriga landet. Detta framgår dels av de påtagligt lägre procenttalen för "lugnt", dels av att absolutvärdena i kolumn A visar en påfallande liten variation över landet trots skillnaden i temperatur.

TABELL 1. Sammanställning av beräknad nominell årlig energiförlust för öppen port på grund av vind- och temperaturpåverkan. Klimatdata från timsynopstationer 1955-75 eller under angiven period. Portarea 30 m<sup>2</sup>.

A. Medelvärde (MWh/år) för alla 180°-vindriktningssektorer inklusive lugnt.

B. Relativ energiförlust i procent av värdet enligt A vid vindriktningar inom sex olika 180°-sektorer, förskjutna 60°, inklusive vindstilla.

Kursiverade värden anger mest respektive minst utsatta sektor.

Ort	Period	A  MWh år	B Procent av A Vindriktningssektorer						
			lugnt	0-180 <sup>o</sup>	60-240 <sup>o</sup>	120-300 <sup>o</sup>	180-360 <sup>o</sup>	240-60 <sup>o</sup>	300-120 <sup>o</sup>
Kiruna	1957-75	7075	19	67	117	125	133	83	75
Luleå		5787	15	75	80	87	125	120	113
Umeå	1962-75	5295	17	80	82	86	118	116	112
Östersund		5503	14	94	99	114	106	101	86
Sundsvall	1962-75	5233	28	81	72	76	119	128	124
Söderhamn		4457	9	61	65	125	139	135	75
Uppsala		4607	10	75	95	101	125	105	99
Arlanda	1962-75	4937	13	87	88	106	113	112	94
Bromma		4327	12	79	89	111	121	111	89
Tullinge		4123	19	79	98	106	121	102	94
Västerås		4471	12	87	88	96	113	112	104
Härsfjärden	1962-75	3855	10	75	92	106	125	108	94
Karlsborg		4714	4	87	96	107	113	104	93
Sätenäs		4413	5	103	116	108	97	85	92
Norrköping		4471	9	84	79	106	116	121	94
Linköping		4104	7	80	96	121	120	104	79
Nyköping		3996	11	80	78	109	120	122	91
Torslanda		5378	5	105	106	112	95	94	89
Kalmar		4216	6	82	86	103	118	114	97
Ronneby		3588	8	87	87	98	113	113	102
Halmstad		4359	7	103	105	107	97	95	93
Ängelholm		4350	6	105	108	103	95	92	97
Ljungbyhed		3764	14	89	106	119	111	94	81
Visby		5099	3	85	106	109	115	94	91
Bultofta	1955-72	4825	6	95	106	102	105	94	99

### 3. MATNINGAR VID MOTORCENTRUM, LINKÖPING

#### 3.1 Bakgrund och syfte

Som försöksobjekt för fullskalestudier av en luftport valdes den nyuppförda anläggningen vid Motorcentrum i Linköping. Valet bestämdes av flera faktorer. Anläggningens läge (se 3.2) i relativt okomplicerad omgivning erbjöd ur meteorologisk synpunkt renodlade försöksbetingelser. Anläggningen kunde färdigställas och sättas i funktion innan byggnaden i övrigt togs i drift, vilket var en väsentlig fördel ur mätteknisk synpunkt. Närheten till Norrköping och SMHI ökade dessutom möjligheterna till effektivt utnyttjande av den begränsade tidsperiod, ca fyra veckor, under vilken anläggningen kunde disponeras för försöken. En ytterligare fördel var att denna tidsperiod inföll under månaderna mars-april, då starkt varierande temperatur- och vindförhållanden kunde förväntas. Som framgår nedan blev detta dock ej fallet.

Huvudsyftet med projektet var att undersöka möjligheterna till reducering av energiförlusterna vid användande av lufttridåport. Fullskaleförsöken i Linköping planerades därför framför allt med syfte att uppmäta hastighets- och temperaturfördelning i lufttridån och dennas läge och utbredning under samtidig registrering av temperaturdifferensen inne-ute samt lokal vindriktning och vindhastighet framför porten. Dessa mätningar redovisas i huvudrapporten.

Utöver bestämning av de yttre meteorologiska betingelserna under fullskaleförsöken skulle även den lokala omgivningens samt själva byggnadens inverkan på luftströmningen och lufttemperaturen studeras.

Det senare syftet ingår som en del i den övergripande målsättningen för det byggnadsklimatologiska FoU-arbetet vid SMHI. Mätningarna i Linköping tjänar i detta sammanhang tillsammans med andra, tidigare och senare utförda lokalmeteorologiska mätningar, som underlag för testning och vidareutveckling av lokalklimatmodeller.

#### 3.2 Mätplatsen

Figur 4 visar den närmaste omgivningen omkring mätplatsen vid Motorcentrum. Platsen är belägen i Tornbyområdet i norra utkanten av stadsbebyggelsen inom ett nyexploaterat småindustriområde. Bebyggelsen i området är mycket gles och byggnadshöjderna låga, 1-2 våningar. Terrängen är mycket flack med stora öppna gräsytor samt asfalterade gator och parkeringsytor. Träd- och buskvegetation saknas så gott som helt. Väster om vägen Motala-Linköping finns något tätare bostadsbebyggelse med byggnadshöjder på 2-3 våningar.

I sektorn V-N-SO sträcker sig det flacka, öppna landskapet över flera kilometers avstånd. Läget är speciellt exponerat för vindar från NNV-NO, där sjön Roxen erbjuder en vidsträckt, öppen vattenyta fram till ett avstånd ca två kilometer från mätplatsen. Från sjön fram till mätplatsen råder fri vindväg över öppna fält bortsett från ett fåtal spridda byggnader.





I sektorn syd om mätplatsen sträcker sig flack men något mindre glest bebyggd terräng ca 1 km fram till äldre, tätare stadsbebyggelse. På detta avstånd höjer sig också landskapet markant mot SV.

Som klimatologisk referensstation användes Malmslätts flygplats, belägen 5 km SV om mätplatsen. Förhållandena i Tornbyområdet avviker något från flygplatsen dels genom den glesa, låga bebyggelsen dels genom att Tornbyområdet ligger ca 40 m ö h medan flygplatsen ligger ca 95 m ö h. Landskapet runt flygplatsen är något kuperat med omväxlande skogs- och jordbruksmark samt spridda mindre bebyggelsekoncentrationer. Norr om flygplatsen finns samlad tätbebyggelse (Malmslätts samhälle) på ca 1 km avstånd.

För jämförelse av vindförhållandena mellan flygplatsen och mätplatsen utfördes en kartering av ytskrovligheten i olika vindriktningssektorer vid respektive plats. Denna kartering användes för beräkning av vindhastigheten i Tornby med utgångspunkt från flygplatsobservationer, såsom närmare behandlas i avsnitt 4.

Själva byggnaden (Motorcentrum) har i huvudsak rektangulär planform (se figur 4) med dimensionerna 88 x 70 x 6 m. Luft-ridåporten är placerad i byggnadens nordöstra sida, approximativt mitt på fasaden. Byggnaden har plant tak och är klädd med fasadtegel. (Detaljer beträffande själva luftridåanläggningen redovisas i huvudrapporten). Byggnadens portsida är orienterad längs riktningen 338°, parallell med och på ett avstånd av 32 m från Roxtorpsgatan. Markytan mellan fasaden och gatan bestod under mätningarna av en delvis asfalterad grusplan.

Under hela mätperioden rådde barmark i området. I början av perioden var marken tjälad ända intill byggnaden. Senare tinade tjälen och grusytan blev tidvis mättad med vatten.

### 3.3 Mätutrustning och givarplacering

Det mätsystem, som använts i projektet, har haft följande sammansättning.

#### 3.3.1 Instrument

- a) *Temperatur.* För utomhusmätningarna användes Pt-100 givare monterade i ventilerade strålningskydd, fabrikat Teledyne typ 327 B-1. Givarna kalibrerades individuellt på SMHI.

För ridåmätningarna användes snabba termistorgivare, Siemens K 17, vilka har en tidskonstant på ca 3 sekunder i luft. Givarna kalibrerades individuellt på SMHI.

- b) *Vindhastighet.* Vindhastighet utomhus mättes med högkänsliga anemometrar, fabrikat Teledyne typ 1564 B med skålkors 170-43 ("staggered six"), med tillhörande mätelektronik (kalibreringsoscillator, processor, spänningsaggregat). Givarna kalibrerades individuellt i vindtunnel på SMHI.



Lufthastighetsmätningarna i luftridån utfördes med högkänsliga termistorgivare, fabrikat TSI typ 1610 DT. Individuella kalibreringsdata levererades av tillverkaren.

c) *Vindriktning*. Vindfana med potentiometer, fabrikat Lambrecht, typ 1466, med lineär respons 0-600 Ohm över 360°.

d) *Mätnoggrannheter*.

Temperatur	Pt-100 givare	$\pm 0.05^{\circ}\text{C}$
	Termistorgivare	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
Vindhastighet	Teledynegivare	$\pm 0.05 \text{ ms}^{-1}$
	TSI givare	$\pm 0.1 \text{ ms}^{-1}$
Vindriktning		$\pm 5^{\circ}$

Samtliga instrument kopplades till en programmerbar datalogger, HP 9825. Mätdata registrerades på datakassetter, vilka därefter överfördes till  $\frac{1}{2}$ " magnetband för bearbetning i SMHI:s stordator.

I mätsystemet ingick, förutom ovanstående instrument, även 2 st 16 m rörteleskopmaster, fabrikat Wipac, 1 st 10 m fackverksmast av SMHI:s standardtyp samt bärarmar och kablage.

### 3.3.2 Mätstrategi och givarplacering

Mätningarna vid Motorcentrum utfördes under slutskedet av anläggningens uppförande och måste, med hänsyn till byggnadsarbetena, begränsas till tidsperioden 1980-03-26--04-19. I början av perioden utfördes monteringsarbete och funktionstester. De egentliga mätningarna påbörjades 1980-03-29.

Mätperioden indelades i två faser, I och II. Under fas I utfördes endast utomhusmätningar medan i fas II mätningar utfördes samtidigt utomhus, i luftridån samt inne i lokalen. Under fas I mättes lufttemperatur i sju punkter, vindhastighet i nio punkter och vindriktning i tre punkter. Under fas II begränsades mätningarna utomhus till tre mätpunkter för temperatur, fyra för vindhastighet och tre för vindriktning. De givaringsångar till dataloggern, som härigenom frigjordes, användes för ridå- och inomhusmätningarna.

Under fas I insamlades samtliga primärdata som tvåminutersmedelvärden. Under fas II användes maximal samplingsfrekvens, vilket innebar att mätvärden från respektive givare registrerades momentant var 12:e sekund.

Under fas I kunde data registreras upp till åtta timmar utan kasettbyte. Motsvarande tid under fas II var ca 1.5 tim. Fas I omfattade tiden 1980-03-29--04-08, fas II under tiden 1980-04-12--19. Mellanperioden användes för byte och omplacering av givare för ridåmätningarna samt funktionstester.

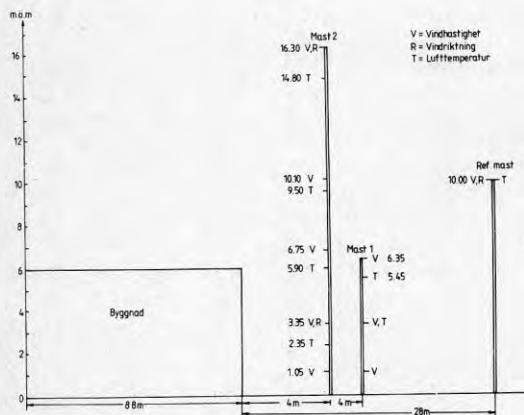
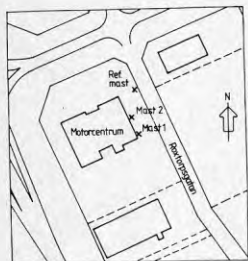
Lokala referensmätningar utfördes i en 10 m mast placerad 28 m ONO om byggnaden, intill Roxtorpsgatan (se figur 5). Läget är öppet för vindar i sektorn V-N-S men stört av själva byggnaden i sektorn S-V. Vindhastighet, vindriktning och temperatur mättes på 10 m ö m. Temperaturgivaren placerades på 10 m nivå i stället för på standardhöjden 2 m för att undvika störningar från trafiken på Roxtorpsgatan och från en intilliggande, ca 3 m hög mindre transformatorbyggnad.

Mätningar intill byggnaden utfördes på flera nivåer i två master, 1 och 2, intill fasaden mot Roxtorpsgatan. Mast 1 placerades 7.5 m norr om fasadens sydliga hörn och 4 m från väggen, mast 2 ungefär mitt på fasaden (1 m söder om portöppningen) och 4 m från väggen. Instrumentplaceringen i de båda masterna var följande, där uppgifter inom parentes anger att mätningarna enbart utfördes under fas 1.

Mast 1: (Temperatur 3.55 och 5.45 m ö m)  
(Vindhastighet 1.05, 3.35 och 6.35 m ö m)

Mast 2: Temperatur 2.35, (5.90), (9.50) och 14.80 m ö m  
Vindhastighet 1.05, 3.35, (6.75), (10.10) och 16.30 m ö m  
Vindriktning 3.35 och 16.30 m ö m

Avståndet mellan mast 1 och 2 var 28.5 m och avståndet mellan mast 2 och referensmasten 48 m. Byggnaden har plant tak, höjd till takkanten 6 m, vilket innebär att mätdata från mast 1 representerar skiktet från marken till taknivån medan data från mast 2 representerar ett skikt från marken till ca 10 m över taknivån.



FIGUR 5. Mätmasternas placering vid Motorcentrum samt mättnivåer i respektive mast.

#### 4. RESULTAT FRÅN MÄTNINGARNA VID MOTORCENTRUM

##### 4.1 Jämförelser Malmslätt-Tornbyområdet

Både vind- och temperaturmätningarna uppvisar vissa skillnader mellan Malmslätt och Tornby. Som framgår i det följande kan dessa skillnader i viss utsträckning förklaras som ett resultat av olikheter i den lokala omgivningen på de båda platserna. Någon fullständig eller generell analys av skillnaderna i vind- och temperaturklimatet är dock ej möjlig av flera skäl.

Den period, som stod till förfogande för mätningarna, var mycket kort. Jämförelsematerialet begränsas dessutom av att nattobservationer kl (20-06) saknas från Malmslätt under vissa nätter, då mätningar utfördes vid Motorcentrum. Väderförhållandena var relativt likartade under större delen av perioden med mullet eller nästan mullet och vindhastigheter endast sällan under  $1 \text{ ms}^{-1}$ , vilket motverkat uppkomsten av större lokala temperaturdifferenser. Vidare dominerade västliga vindar starkt under mätperioden -under ca 75% av tiden låg vindriktningen i sektorn S-V-N, under ca 60% i sektorn SV-NV.

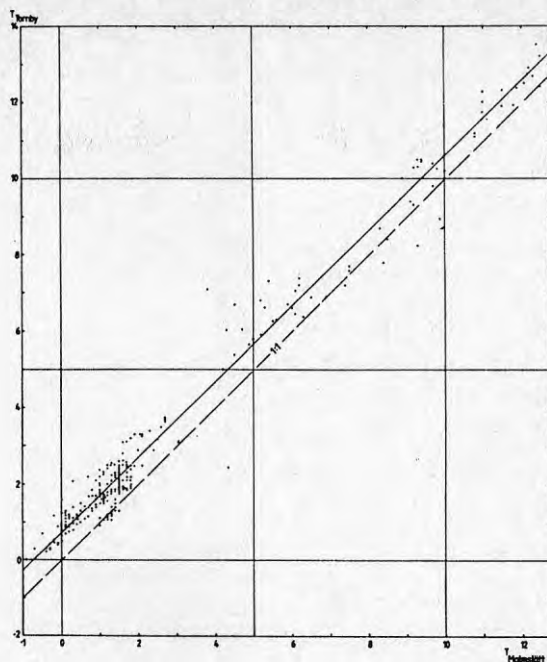
Vissa tendenser kan dock, trots dessa begränsningar, utläsas ur jämförelser mellan Tornbymätningarna och observationerna på Malmslätt. Vidare har materialet kunnat användas som testdata för omräkning av vindhastigheten från en observationsstation (Malmslätt) till en lokal plats (Tornby).

##### 4.1.1 Temperatur

Samtidiga temperaturdata (10-minutersmedelvärden) från Malmslätt och Tornby har plottats i figur 6. Härav framgår att Tornby i så gott som samtliga fall är något varmare än Malmslätt. Lineär regression ger sambandet.

$$T_{\text{Tornby}} = 0.73 + 0.98 \cdot T_{\text{Malmslätt}}; r = 0.99 \quad (4.1)$$

Mätvärdenas koncentration i temperaturområdet  $0 - +2^{\circ}\text{C}$  återspeglar den ovannämnda dominansen av vissa väderförhållanden. Materialet är härigenom alltför begränsat för att ekv. (4.1) skall kunna användas som för Tornby generell temperaturkorrektur till Malmslätt-observationerna. Som dock framgår ur tabellerna i figur 3a-f har temperaturfördelningen under året sitt maximum i intervallet  $0 - +2^{\circ}\text{C}$ , varvid vinden ofta är relativt kraftig. Inom det temperaturområde  $\geq 0^{\circ}\text{C}$ , som täcks av mätningarna kan ekv. (4.1) därför vara användbar som en generell korrektion.



FIGUR 6. Samtidiga lufttemperaturmätningar (tiominutersmedelvärde vid hel timme) vid den meteorologiska stationen Malmslätt 2 m ö m och i referensmasten i Tornby 10 m ö m. Heldragen linje representerar regressionssambandet enligt ekv. (4.1).

Av figuren framgår att temperaturdifferensen Tornby-Malmslätt är praktiskt taget oberoende av temperaturen. Differensen är i medeltal  $0.76^{\circ}\text{C}$ . Denna differens är för stor för att kunna bero på mätfel. Den kan dock ha flera andra orsaker.

a) Höjdskillnaden mellan mätplatserna.

I frånvaro av andra temperaturpåverkande faktorer bör en temperaturskillnad uppstå genom adiabatisk uppvärmning eller avkylning ( $\pm 1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) på grund av luftens vertikala förflyttning vid strömning över ett kuperat landskap. Dominansen av västvindar innebär att luftströmningen i regel varit riktat från högre mot lägre liggande terräng, vilket bör medföra en temperaturökning i Tornby. Höjdskillnaden mellan mätpunkterna är emellertid endast ca 50 m och förklarar således ej hela differensen.

## b) Rådande temperaturskiktning.

Skillanden i mätnivå relativt den lokala markytan är ca 8 m (2 m respektive 10 m ö m). Detta skulle i inversionssituationer helt eller delvis kunna förklara den observerade temperatur-differensen. Under den övervägande delen av tiden rådde emellertid ej sådan temperaturskiktning. Detta framgår delvis av följande.

I tabell 2 visas temperaturdifferensens fördelning över olika stabilitetsklasser (Pasquill-Turner-klasser, se [3]) där,

PT = 3 betecknar instabil skiktning

PT = 4 betecknar neutral skiktning

PT = 5 betecknar svagt stabil skiktning

PT = 6 betecknar stabil skiktning

PT = 7 betecknar mycket stabil skiktning

TABELL 2. Procentuellt antal fall med viss temperaturdifferens  $\Delta T = T_{\text{Tornby}} - T_{\text{Malmslätt}}$  vid olika stabilitet (PT-klass) enligt Malmslätt-observationerna.

	PT = 3	4	5	6	7
$\Delta T_{T-M}$					
4.0					
3.8					
3.6					
3.4					
3.2			0.4		
3.0					
2.8					
2.6					
2.4					
2.2			0.4		
2.0					
1.8			0.4	0.7	
1.6			0.4	0.4	
1.4		2.2	0.4	0.7	
1.2		4.4	2.2	1.5	
1.0		6.6	4.0	1.8	
0.8	0.7	10.7	5.1	1.6	1.5
0.6	1.1	9.9	4.0	4.0	0.7
0.4	4.0	6.3	0.9	3.7	0.4
0.2	1.8	2.2	1.1	2.2	0.4
± 0.0	0.4	1.1	5.9	1.1	0.4
- 0.2			1.5	0.4	
- 0.4					
- 0.6			0.4		
- 0.8					
- 1.0					
S:a	8.0	43.4	27.1	18.1	3.4



Av tabellen framgår att klasserna  $PT = 4, 5$  och  $6$  var helt dominerande under försöksperioden. Den relativt höga frekvensen ( $5.9\%$ ) för  $\Delta T = 0^\circ$  vid  $PT=5$  representerar en längre period med dimma, dis och duggregn då temperaturen bör ha varit mycket nära konstant med höjden i marknära nivåer. Inversionsförhållanden råder främst i klasserna  $PT=6$  och  $7$ . Av tabellen framgår emellertid att differensen är systematiskt positiv även vid  $PT=3, 4$  och  $5$ . Vid dessa stabilitetsförhållanden kan skillnaden i lokal måthöjd ej förklara temperaturdifferensen.

#### c) Inverkan av bebyggelsen.

Avvikelsen kan möjligen tolkas som en mycket svag temperaturhöjning orsakad av den glesa bebyggelsen inom Tornbyområdet.

Mera troligt är dock att differensen representerar luft, som uppvärmts lokalt av den tätare stadsbebyggelsen väster om Tornbyområdet. Effekten härav framträder tydligare i en enstaka situation, som framgår nedan.

Den systematiska temperaturdifferensen mellan Malmslätt och Tornby är sammanfattningsvis, troligen ett resultat av faktorerna a) och c) ovan i kombination.

I temperaturintervallet  $T_{\text{Malmslätt}} \approx +4 - +6^\circ\text{C}$  finns ett fåtal fall med speciellt stora temperaturöverskott ( $\approx 2^\circ$ ) i Tornby. Dessa representerar timmar under natten 16-17.4 med vind omkring SV,  $2-3 \text{ ms}^{-1}$ , molnighet 3-6/8 cirrusmoln och svagt stabil skiktning ( $PT=5$ ). Den mycket glesa bebyggelsen i Tornbyområdet borde under dessa meteorologiska förhållanden i sig själv inte ge upphov till så stora temperaturöverskott. Just i sektorn S-V från mätplatsen finns emellertid omfattande och relativt tät flervånings bostadsbebyggelse (Skäggetorpområdet) på ett avstånd, som närmast, av endast 300 m. Tidigare undersökningar i Uppsala [6] ger vid handen att områden med liknande bebyggelsestruktur och under likartade meteorologiska förhållanden bör kunna ge en temperaturhöjning på ca  $2^\circ\text{C}$  relativt obebyggd, öppen mark. Det jämförelsevis stora temperaturöverskottet vid mätplatsen i Tornby återspeglar sannolikt en transport av varmare luft från Skäggetorpområdet. Transporttiden över den korta sträckan (300 m) från bebyggelsens gräns är endast 2-3 minuter, under vilken tid luften kan ha avkylts med högst någon tiondels grad.

#### 4.1.2 Vind

Vindhastigheten i Tornby, 10 m ö m, har jämförts med samtida värden från Malmslätt dels för att se, hur skillnaderna i lokal omgivning på de båda platserna påverkar vindhastigheten, dels för att testa en metod för beräkning av den lokala vindhastigheten ur rutinemässiga meteorologiska observationer. Jämförelserna avser i båda fallen 10-minutersmedelvärden.

Vindmätningarna på Malmslätt's flygplats utförs i en punkt ca 400 m söder om bankorset, över en öppen, horisontell gräsyta. Läget är fritt exponerat för vindar i en sektor omkring N ( $\sim 290^\circ-60^\circ$ ) samt omkring S ( $\sim 140^\circ-240^\circ$ ). Vid vindar från övriga riktningar är läget däremot något skyddat av skog, byggnader m m på avstånd, som närmast, av 200-300 m.

Mätpunkten i Tornby har ett mera skyddat läge till följd av den omgivande, glesa bebyggelsen (jfr avsnitt 3.2).

En detaljerad kartering av omgivningens skrovlighet (uttryckt med skrovlighetsparametern  $z_0$ ) har utförts för båda punkterna som underlag för omräkningen av vindhastigheten från Malmslätt till Tornby, se punkt *b* nedan.

*a. Lokala skillnader i vindhastighet och vindriktning*

Samtidigt uppmätta vindhastigheter (10-minutersmedelvärden) på Malmslätt och i Tornby visar en påtaglig hastighetsminskning i Tornby vid vindhastigheter  $\gtrsim 3 \text{ ms}^{-1}$ . Lineär regression på samtliga mätdata ger relationen,

$$\bar{u}_{T,m} = 0.71 + 0.748 \bar{u}_{M,m}; r = 0.821 \quad (4.2)$$

där

$\bar{u}_{T,m}$  är uppmätt vindhastighet i Tornby

$\bar{u}_{M,m}$  är uppmätt vindhastighet i Malmslätt

Medelvärden och standarddeviationer för respektive mätserie är,

Tornby:  $mv = 3.17 \text{ ms}^{-1}$ ,  $\sigma = 1.29 \text{ ms}^{-1}$

Malmslätt:  $mv = 3.24$  " ,  $\sigma = 1.40$  "

Den korta mätperioden och den kraftiga dominansen av västliga vindriktningar har begränsat möjligheterna att analysera riktningsvariationen i förhållandet mellan vindhastigheterna i de två punkterna. För vissa delsektorer, där minst tio värden erhållits under mätperioden, redovisas här medelvärdena av de uppmätta vindhastigheterna.

Sektor	$\bar{u}_{T,m}$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	$\bar{u}_{M,m}$	$(\bar{u}_T/\bar{u}_M)_m$	(Antal värden)
100-200	4.14	3.65	1.13	(35)
220-240	1.93	2.59	0.75	(10)
260-290	3.15	3.44	0.92	(110)
310-020	2.17	2.27	0.96	(24)

Trots det begränsade underlaget kan man konstatera (jfr *b* nedan) att skillnaderna i kvoten  $\bar{u}_T/\bar{u}_M$  mellan de olika sektorerna motsvaras av skillnader i uppströmsförhållanden (skrovlighet). Ett undantag utgör dock sektorn 310-020.



*b. Beräkning av den lokala vindhastigheten i Tornby ur meteorologiska observationer från Malmslätt*

Metodbeskrivning

Observationsserierna från meteorologiska stationer (SYNOP- och TIMSYNOP-stationer) innehåller förutom uppgifter över vindriktning och vindhastighet på 10 m ö m, även information som kan utnyttjas för beräkning av den rådande stabilitetstypen (Pasquill-Turner-klass, PT, se 4.1.1).

I kombination med karteringar - baserade på topografiska kartor och inspektion av området - av omgivningens skrovlighet i olika riktningar ger vind- och stabilitetsdata underlag för beräkning av den vertikala vindprofilen från marken till några 100 m höjd. Genom att definiera en referensnivå ( $H$ ), där vinden kan betraktas som opåverkad av lokala skillnader i skrovlighet, erhålles ett utgångsvärde för beräkning av den lokala, vertikala vindhastighetsprofilen på en annan plats med andra skrovlighetsförhållanden. Metoden finns närmare redovisad i [4]. Den har använts tidigare vid SMHI i samband med vindenergikarteringar [2].

Olika varianter av samma principiella metodik har studerats speciellt för beräkning av vinden över stadsbebyggelse [6].

Metoden bygger på att den vertikala vindprofilen kan beskrivas med ett uttryck av formen,

$$\bar{u}(h) = \bar{u}(h_1) \left( \frac{h-d}{h_1-d} \right)^\alpha \quad (4.3)$$

där

$\bar{u}(h)$  = medelvindhastigheten på nivån  $h$

$d$  = den skollplansförskjutningen

$\alpha$  = en exponent, som beror av underlagets skrovlighet ( $z_0$ ) och rådande stabilitetstyp

Vid luftens strömning från ett område med en skrovlighetstyp till ett område med en annan (t ex från sjö till åkermark) utbildas interna gränsskikt över respektive yta. Djupet av dessa interna gränsskikt växer nedströms i vindriktningen i en takt, som kan beräknas med hjälp av skrovlighetsparametern  $z_0$  och PT-klassen [4].

Interna gränsskikt härrörande från olika ytor uppströms om en viss punkt överlagras på varandra i flera nivåer. Inom varje sådant skikt beskrivs vindprofilen av ett uttryck av formen (4.3). Vid uppräknigen av hastighetsprofilen till referensnivån  $H$  kombineras därför dessa uttryck. Nedräkningen från referensnivån till en viss nivå lokalt på en annan plats sker analogt. Det resulterande uttrycket för kvoten mellan hastigheten på en viss nivå,  $h_0$ , på två olika platser är,

$$\frac{\bar{u}'(h'_0)}{\bar{u}(h_0)} = \frac{\left(\frac{h_1-d_1}{h_0-d_0}\right)^{\alpha_1} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H-d_n}{h_{n-1}-d_{n-1}}\right)^{\alpha_n}}{\left(\frac{h'_1-d'_1}{h'_0-d'_0}\right)^{\alpha'_1} \cdot \dots \cdot \left(\frac{H-d'_m}{h'_{m-1}-d'_{m-1}}\right)^{\alpha'_m}} \quad (4.4)$$

där

$\bar{u}(h_0)$  = hastigheten på nivån  $h_0$  i utgångspunkten

$\bar{u}'(h'_0)$  = hastigheten på nivån  $h'_0$  på annan plats

$h_i, d_i, \alpha_i$  = är djupet och nollplansförskjutningen samt exponenten för det  $i$ :te interna gränsskiktet ( $i=1 \dots n$ ) i utgångspunkten

$h'_j, d'_j, \alpha'_j$  = motsvarande data för  $j$ :te skiktet ( $j=1 \dots m$ ) på en annan plats

$H$  = den gemensamma referensnivån

Ekv.(4.4) har egenskapen att kvoten mellan hastigheterna  $\bar{u}'$  och  $\bar{u}$  är konstant för en given vindriktning och stabilitetsklass (förutsatt att samma vindriktning och stabilitet gäller båda platserna). För en viss plats kan man härigenom en gång för alla beräkna och tabellera denna kvot med vindriktning och stabilitetsklass som ingångsparametrar.

I den ursprungliga formuleringen av metoden [4] har referensnivån  $H$  valts konstant = 200 m. Detta leder emellertid vid stabil eller mycket stabil skiktning till orälistiskt höga vindhastigheter på nivån  $H$ . Följande modifiering har därför införts.

Stabilitet	Referensnivå
PT = 3	$H = 400$ m
PT = 4	$H = 300$ m
PT = 5	$H = 200$ m
PT = 6	$H = 100$ m
PT = 7	$H = 50$ m

### Resultat

Ekv.(4.4) har använts för beräkning av kvoten mellan vindhastigheterna på 10 m ö m i Tornby ( $\bar{u}_T$ ) och på Malmslättis flygplats ( $\bar{u}_M$ ). Härvid har nollplansförskjutningen försumrats, dvs  $d_i = d'_i = 0$ . De resulterande kvoterna framgår av tabell 3 nedan. Härvid har data enligt [4] använts för beräkning av  $h_i, h'_i, \alpha_i$  och  $\alpha'_i$ .

TABELL 3. Beräknade värden på kvoten  $\bar{u}_T/\bar{u}_M$  enligt ekv. (4.4) för olika vindriktningssektorer och stabilitetsklasser.

Vindriktning	Stabilitet (PT-klass)				
	3	4	5	6	7
1- 20°	0.948	1.046	1.126	1.178	1.283
21- 70°	0.943	1.067	1.126	1.207	1.311
71- 90°	0.982	1.004	1.011	1.034	1.059
91-140°	1.032	1.101	1.101	1.177	1.226
141-240°	0.704	0.599	0.541	0.506	0.511
241-260°	0.781	0.798	0.785	0.824	0.907
261-290°	0.912	0.948	1.008	1.017	1.207
291-310°	0.837	0.876	0.903	0.933	1.009
311-350°	0.953	1.107	1.175	1.272	1.395
351-360°	0.959	1.133	1.210	1.321	1.460

Den detaljerade och oregelbundna sektorsindelningen i tabellen är ett resultat av de kombinerade skrovlighetskarteringarna för Tornby respektive Malmslätt.

Av tabellen framgår att kvoten varierar starkt beroende både på vindriktningen och stabilitetsklassen. I den relativt vida sektorn 141-240° ligger Tornby omedelbart nedströms ("i lä") av stadsbebyggelsen i Linköping medan Malmslätt har ett exponerat läge med fri vindväg över en sträcka av ca 1 km.

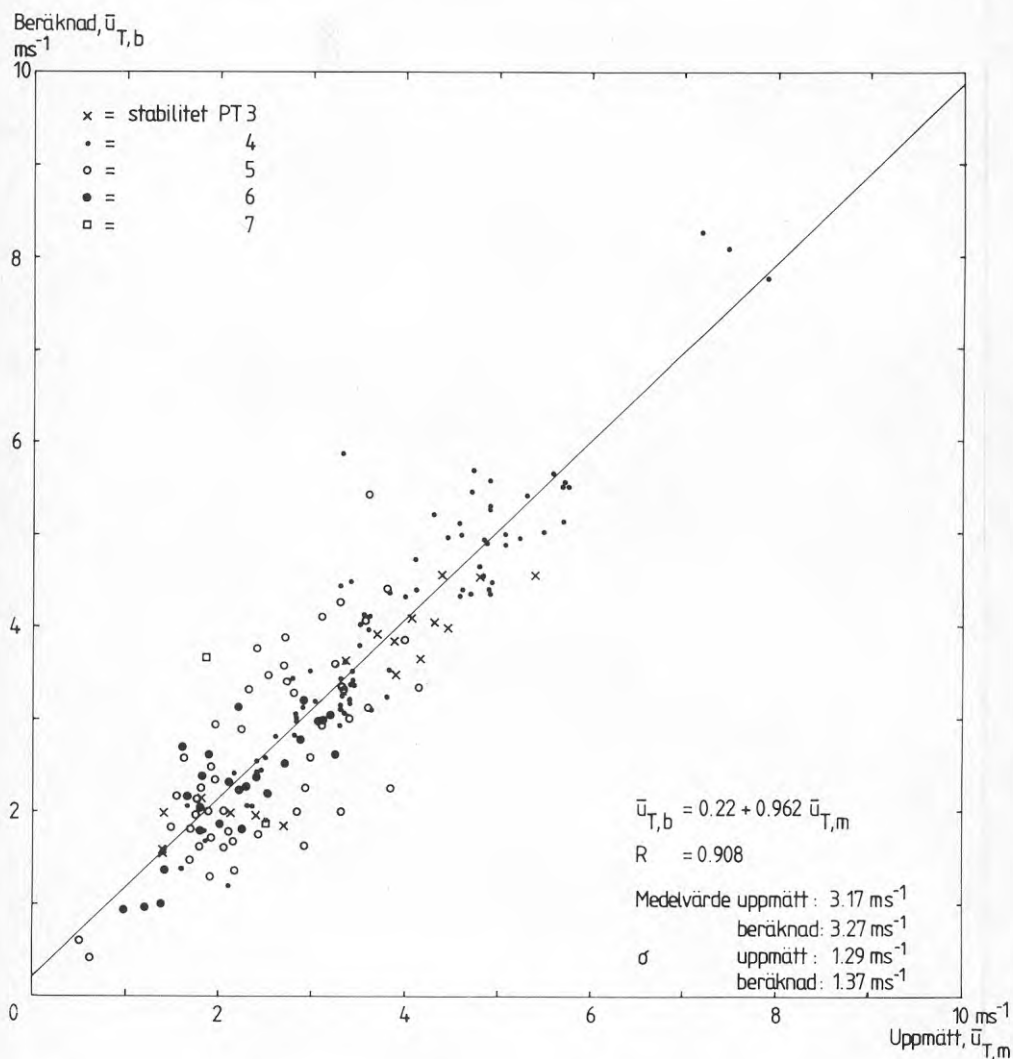
Vid nordliga vindriktningar (311-70°) är båda platserna relativt exponerade med öppna fält inom den närmaste kilometern. I Tornby sträcker sig de öppna fälten ut till 2-3 km avstånd medan bebyggelse, skog och oregelbunden terräng vidtar bortom ca 1 km i Malmslätt. På längre avstånd än ca 2.5 km upptages en del av sektorn i Tornby av sjön Roxens vidsträckta vattenyta. Dessa förhållanden resulterar i att kvoten  $\bar{u}_T/\bar{u}_M$  antar relativt höga värden ( $\gtrsim 1$ ) i sektorn.

I nedanstående tabell visas kvoten mellan den beräknade vindhastigheten i Tornby ( $\bar{u}_{T,m}$ ) och den uppmätta på Malmslätt ( $\bar{u}_{M,m}$ ) för samma fyra delsektorer som under a ovan. (Dessutom upprepas värdena för kvoten mellan de uppmätta hastigheterna,  $\bar{u}_{T,m}/\bar{u}_{M,m}$  för jämförelsens skull).

Sektor	$\bar{u}_{T,b}$ ( $\text{ms}^{-1}$ )	$\bar{u}_{T,b}/\bar{u}_{M,m}$	$\bar{u}_{T,m}/\bar{u}_{M,m}$
100-120	4.02	1.10	1.13
220-240	2.10	0.77	0.75
260-290	3.18	0.95	0.92
310-020	2.68	1.18	0.96

Överensstämmelsen är god utom för sektorn 310-020°. Avvikelsen i denna sektor beror troligen på att sektorn innehåller några enstaka, glest spridda byggnader inom de närmaste 500 m samt en landsvägsviadukt över motorvägen på ca 1.3 km avstånd. Vid den ursprungliga skrovlighetskarteringen bortsågs från dessa omgivningselement.

I figur 7 visas sambandet mellan uppmätta och beräknade vindhastigheter (10-minutersmedelvärden) i Tornby.



FIGUR 7. Vindhastighet (tiominutersmedelvärden) på 10 m ö m i referensmasten i Tornby beräknad med utgångspunkt från meteorologiska observationer på Malmslätt och enligt mätningarna. Heldragen linje representerar regressionssambandet enligt ekv. (4.5).

I figuren är data för alla vindriktningar sammanslagna. Lineär regression ger följande samband,

$$\bar{u}_{T,b} = 0.22 + 0.962 \bar{u}_{T,m}; r = 0.908 \quad (4.5)$$

Standarddeviationerna är

$$\sigma_b = 1.37 \text{ ms}^{-1}$$

$$\sigma_m = 1.29 \text{ ms}^{-1}$$

Överensstämmelsen är som synes god totalt sett och även för respektive stabilitetsklass. Resultatet skulle kunna förbättras något genom en revidering av skrovlighetsbestämningen i sektorn 310-200.

Resultatet av denna metodtest kan sammanfattas enligt följande.

- Kvoten mellan vindhastigheterna på två olika platser är starkt beroende både av skrovlighetsförhållandena i omgivningarna och av den rådande stabilitetstypen.
- Skrovlighetskarteringen måste göras med omsorg och relativt stor detaljeringsgrad både för utgångspunkten och för den lokala platsen.
- En god approximation av den lokala vindhastigheten kan erhållas med utgångspunkt från rutinmässigt tillgängliga meteorologiska data i kombination med lokala karteringar av det omgivande landskapets skrovlighet.
- Lokala vindmätningar på en viss plats under en begränsad tid (några månader) kan vara värdefulla för test och förfining av skrovlighetskarteringen.

Genom sin relativa enkelhet har den här illustrerade metoden många praktiska fördelar. Tillgängliga, långåriga meteorologiska observationsserier kan användas bl a för beräkning av lokalt representativ vindstatistik av den typ som redovisats i avsnitt 2 ovan.

## 4.2 Byggnadens inverkan på vind- och temperaturförhållandena

### 4.2.1 Vindriktning

Vindriktningen mättes i tre punkter (jfr avsnitt 3.3),

- på 10 m ö m i referenspunkten
- på 16.3 m ö m i mast 2, ca 10 m över tak
- på 3.35 m ö m i mast 2, på ca halva byggnadshöjden

a. *Skiktet ovanför byggnadens taknivå (~ 6 m ö m)*

Placeringen av mast 2 (jfr figur 4) innebär att masten är belägen nedströms om byggnaden vid vindriktningar i 180°-sektorn 160°-270°-340°, uppströms vid övriga vindriktningar. Referensmasten ligger nedströms om byggnaden vid vindriktningar i sektorn 180°-250°. Kortaste avståndet från byggnaden är 28 m.

Mätningarna i mast 2, 16.3 m, och i referensmasten, 10 m, visar ingen systematisk avvikelse. Regressionsanalys på samtliga data (10-minutersmedelvärde) under mätperioden ger,

korr.koeff.	R(10,16.3) = 0.992
medelvindriktning	10 m = 353°
medelvindriktning	16.3 m = 354°
standardav.	10 m = 84°
standardav.	16.3 m = 84°

Materialet har dessutom delats upp på tre delsektorer,

- 70°-150°, båda masterna fritt exponerade
- 200°-250°, både mast 2 och referensmasten nedströms byggnaden
- 270°-340°, mast 2 nedströms, referensmasten fritt exponerad.

Följande resultat erhöles.

Nivå	200°-250°		Sektor 270°-340°		70°-150°	
	mv.	σ	mv.	σ	mv.	σ
10 m	243°	9°	298°	17°	126°	10°
16.3 m	238°	19°	301°	24°	126°	15°

Vindriktningen är genomgående något mer fluktuerande på 16.3 m nivån än på 10 m nivån. Med hänsyn till att resultaten avser 10-minutersmedelvärden är det ej troligt att skillnaden beror på byggnadens inverkan. Ej heller beträffande medelvindriktningen kan någon klar påverkan från byggnaden konstateras.



Resultaten tyder på att vindriktningsmätningarna i båda punkterna bör vara representativa för den lokala medelströmningen över Tornbyområdet. För planering av vindmätningar i bebyggelse är detta av visst intresse.

#### *b. Skiktet under taknivån*

En jämförelse av vindriktningen intill byggnaden på 3.35 m nivå och på 10 m nivå i referensmasten visas i figur 8. Punkterna i figuren representerar tvåminutersmedelvärden under utvalda perioder, då medelströmningens riktning varit approximativt konstant - dels omkring  $120^\circ$  dels omkring  $300^\circ$ . Referensmasten är i båda fallen fritt exponerad medan mast 2, 2.35 m nivå, i det första fallet befinner sig i lovart och i det andra fallet i lä av byggnaden. Vindriktningarna bildar vinkeln  $\sim 180^\circ$  inbördes och  $\sim 40^\circ$  relativt fasaden.

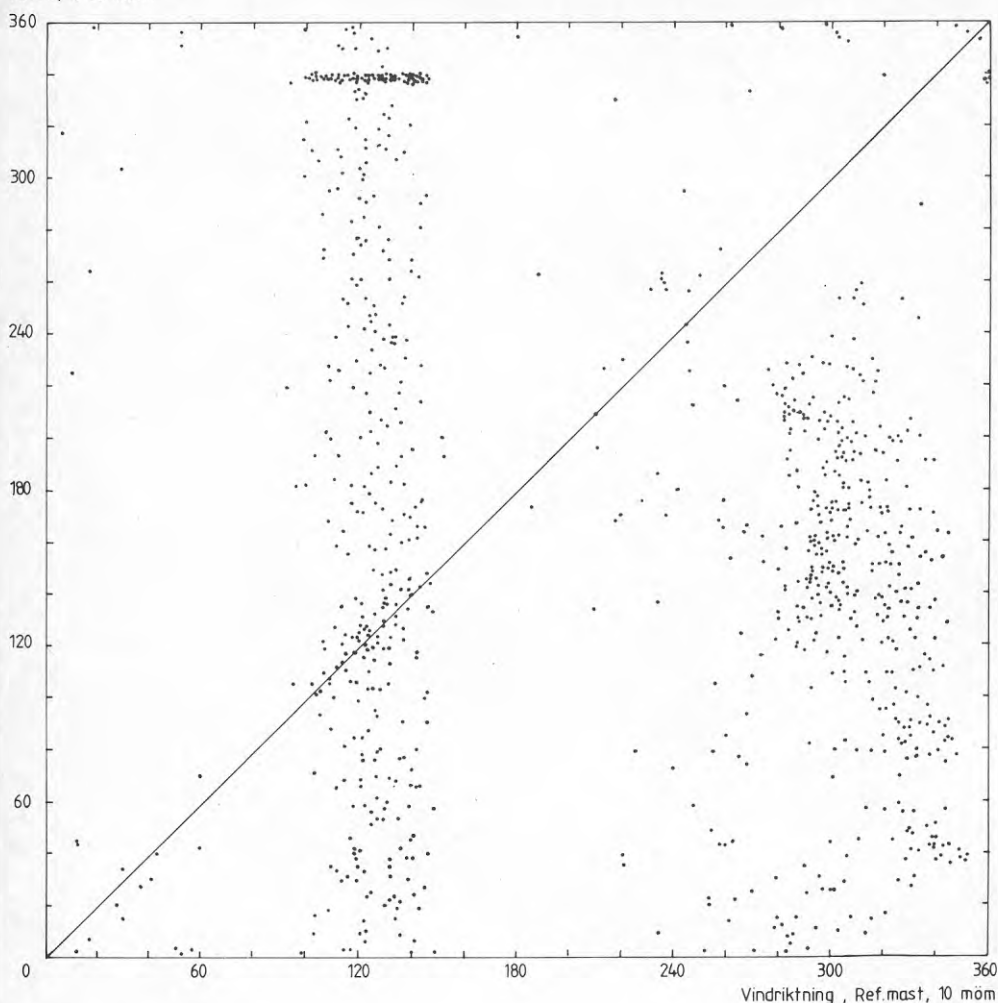
Som framgår av den stora spridningen av punkterna är strömningen intill byggnaden (4 m från fasaden) extremt turbulent såväl vid vind mot fasaden som från denna.

Vid anblåsning snett in mot fasaden finns dock dels en svag tendens till bevarande av vindriktningen (ansamling av punkter kring 1:1-linjen) dels en markerad tendens till styrning av vinden utmed fasaden (kraftig koncentration av punkter omkring  $338^\circ$ ). Koncentrationen är betydligt större än vad som framgår då endast ca hälften av punkterna  $\sim 338^\circ$  plottats. Denna styrning är dock riktad "åt fel håll", dvs den har en komponent motriktad den anblåsande vindens riktning. Ett karakteristiskt drag i mätdata är att riktningen  $338^\circ$  ofta förekommer som medelvärde under flera - upp till 9 st - på varandra följande tvåminutersperioder omväxlande med perioder med mycket varierande vindriktning.

Då fasaden utgör läsida finns en viss tendens till koncentration av värden i intervallet  $140^\circ$ - $180^\circ$ , dvs approximativt motsvarande styrning längs fasaden. Även i detta fall är styrningen "åt fel håll". Den anblåsande vinden är i detta fall mer turbulent - visar kraftigare riktningssfluktuationer - än i det föregående fallet. (Detta är följande karakteristiskt för NV-vindar, vilka ofta är förenade med mycket instabil skiktning). Någon tendens till sammanhängande perioder med strömning längs fasaden finns inte i detta fall.

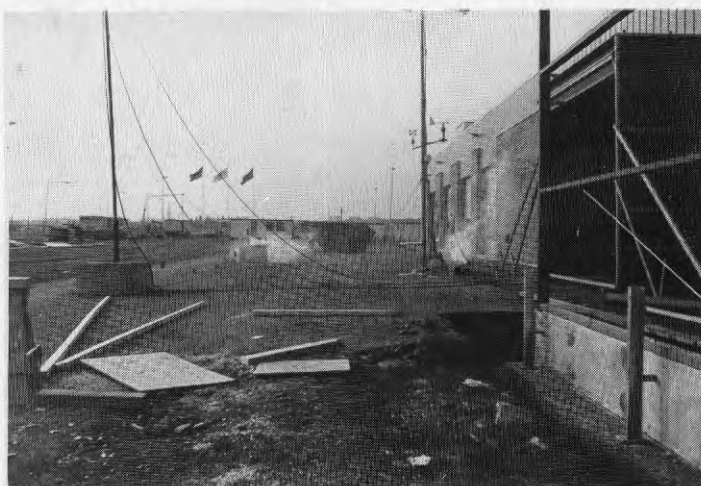
Den tendens till styrning av vinden "åt fel håll", som framgår ur figur 8, är överraskande och svårförklarligt. Under fas II av mätningarna försågs luftporten med en utskjutande "sluss", se figur 9, som möjligen kan ha påverkat strömningen intill fasaden. Styrningen "åt fel håll" uppträdde emellertid även under fas I, under vilken huvuddelen av mätningarna i figur 8 utfördes. Något mätfel, som skulle kunna förklara fenomenet, har ej kunnat fastställas. Möjligen kan den observerade tendensen sammanhånga med mätpunktens speciella läge - mitt på fasaden och på ca halva hushöjden. Resultatet skulle kunna tyda på att strömningen ofta delar på sig horisontellt i detta område. Den stora variabiliteten i vindriktningen är i så fall inte av rent turbulent karaktär utan representerar även en ordnad strömning med intermittert växlande riktning längs fasaden.

Vindriktning  
Mast 2, 3.35 m ö m



FIGUR 8. Samtidigt uppmätta vindriktningar (tvåminutersmedelvärden) i referensmasten (10 m ö m) och mitt på fasaden (mast 2, 2.34 m ö m) under perioder med relativt stabil referensvindriktning omkring  $120^{\circ}$  respektive  $300^{\circ}$ .

Vid ett tillfälle med västlig vind gjordes ett enkelt rökförsök för att visualisera strömningen i lä av byggnaden. Figur 9 visar exempel på dels hur röken dras in mot fasaden i en zon närmast huset dels hur röken på längre avstånd rör sig i vindriktningen bort från byggnaden. I lä av byggnaden har utbildats en vindrotor med horisontell axel. Mätningarna medger inte någon närmare kartläggning av denna rotor. Genom traversering med rökfackla utåt från väggen bestämdes emellertid uträckningen av rotorn till ca 15 m ut från fasaden, motsvarande ca 2.5 x hushöjden.



FIGUR 9. Visualisering av strömningen nära marken i lä av byggnaden vid ett tillfälle med västlig vind. Bilderna är tagna under mätfas II, då luftporten var försedd med en utskjutande sluss.

#### 4.2.2 Vindhastighet

Mätpunkternas läge framgår ur avsnitt 3.3 och figur 5.

##### a. Medelförhållanden under och över hustaksnivå

Vindhastigheten i referensmasten, 10 m ö m, har jämförts med samhörande värden i mast 2 på 16.3 m och 10.1 m ö m. Liksom beträffande vindriktningen särskiljes tre olika riktningsektorer. Följande samband erhöles ur tiominutersmedelvärden av vindhastigheten på 16.3 respektive 10.1 m nivå i mast 2 och på 10 m nivå i referensmasten.

	Vindriktningsektor							
	0°-360°		70°-150°		200°-250°		270°-340°	
	mv	$\sigma$	mv	$\sigma$	mv	$\sigma$	mv	$\sigma$
$u_R(10)$	2.68	1.29	3.63	0.88	1.57	0.32	3.22	1.05
$u_2(10)$	2.58	1.29	3.52	0.95	1.50	0.28	3.11	1.04
Korr.	0.994		0.974		0.954		0.965	
$u_2(16.3)$	2.96	1.40	3.92	1.02	1.91	0.32	3.53	1.05
Korr.								

Av tabellen framgår bl a att medelhastigheten på 10.1 m nivå i mast 2 i samtliga fall är något lägre än i referensmasten. Skillnaden är dock liten och korrelationen  $R(u_R, u_2(10))$  över 0.95. Även  $\sigma$ -värdena visar god överensstämmelse på 10 m nivån. Byggnadens effekt på vindhastigheten på 10.1 m nivån intill fasaden (mast 2) tycks vara försumbar i medeltal.

Byggnadens inverkan på vindhastigheten vid olika vindriktningar framgår ytterligare ur figurerna 10-12, där vertikalprofiler har uppritats av följande storheter. Resultaten utgör medelvärden av alla tiominutersmedelvärden i respektive sektor:

Relativ vindhastighet	$\bar{u}_i(h)/\bar{u}_R(10)$
Korrelationskoefficient	$R(\bar{u}_R(10), \bar{u}_i(h))$
Relativ standarddeviation	$\sigma_i(h)/\bar{u}_i(h)$

där

$\bar{u}_i(h)$  = medelvärdet av uppmätta vindhastigheter på nivån  $h$  i mast 1 respektive 2

$\bar{u}_R(10)$  = motsvarande medelvärde i referensmasten

Profilerna av relativ vindhastighet och korrelationskoefficient för sektorerna  $70^{\circ}$ – $150^{\circ}$  och  $270^{\circ}$ – $340^{\circ}$  visar mycket god överensstämmelse ovanför taknivån, medan profilerna för sektorn  $200^{\circ}$ – $250^{\circ}$  där visar en mindre avvikelse. Vindriktningar i sektorn  $200^{\circ}$ – $250^{\circ}$  under mätperioden inträffade i större utsträckning än för de övriga sektorerna i samband med stabil skiktning ( $PT=5,6$ ). Både den avvikande formen på hastighetsprofilen och den absolut sett betydligt lägre medelvindhastigheten (jfr tabellen ovan) är i överensstämmelse härmed, liksom även den svagare relativa spridningen i 10-minutersmedelvindhastigheten (figur 12).

Under taknivån påverkas profilerna starkt av byggnaden, speciellt när mätpunkterna ligger i lä av byggnaden. Bortsett från den allra lägsta mätnivån (1.05 m) tycks i huvudsak samma förhållanden råda mitt på fasaden (mast 2) som 7.5 m från hörnet (mast 1). Resultaten för 1.05 m-nivån är mer osäkra än för övriga nivåer på grund av de låga vindhastigheterna på denna nivå.

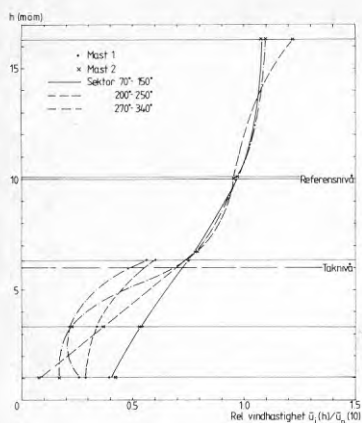
Mätnivån 3.35 m – på halva byggnadshöjden – uppvisar i läposition en tendens till svagare relativa  $\sigma$ -värden. Detta torde sammanhånga med avståndet – 4 m – från fasaden och representerar sannolikt den horisontella hastigheten i det inre av lärotorn. Mera överraskande är att en klart negativ korrelation med referensvindens hastighet här erhålles både i mast 1 och 2.

Resultaten i figurerna 10–12 är medelvärden för vindriktningssektorerna  $70^{\circ}$ – $150^{\circ}$ ,  $200^{\circ}$ – $250^{\circ}$  respektive  $270^{\circ}$ – $340^{\circ}$  samt för alla vindhastigheter. För att närmare undersöka de relativa vindhastigheternas och standardavvikelseernas riktnings- och hastighetsberoende har materialet analyserats ytterligare enligt följande:

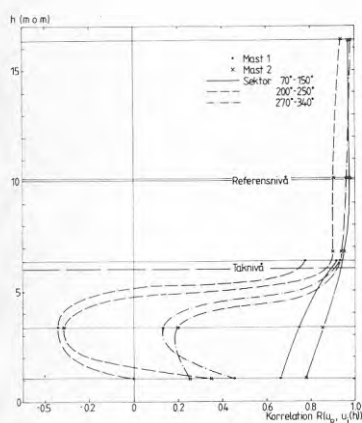
*b. Den relativa vindhastighetens riktningsberoende*

Varje 10-minutersmedelvärde,  $u_i(h)$ , av vindhastighet på respektive nivå i mast 1 och 2 har dividerats med den samtidiga vindhastigheten på 10 m ö m i referensmasten,  $u_R(10)$ , samt plottats som funktion av anblåsningsriktningen mot fasaden. Resultaten visas i figur 13. Anblåsningsriktningen har härvid definierats som vinkeln mellan fasadnormalens orientering ( $68^{\circ}$ ) och vindriktningen. Vinkeln räknas positiv vid vind *mot* fasaden (dvs vid vindriktningar  $68^{\circ} \pm 90^{\circ}$ ), negativ vid vind *från* fasaden (dvs vid vindriktningar  $248^{\circ} \pm 90^{\circ}$ ). Riktningen  $0^{\circ}$  motsvarar vinkelrät anblåsning mot respektive från fasaden, riktningen  $+90^{\circ}$  och  $-90^{\circ}$  vind längs med fasaden.

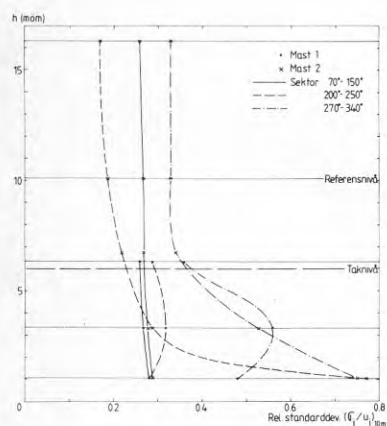




FIGUR 10. Vindhastighet på olika höjd över marken relativt vindhastigheten i referensmasten. Medelvärden för respektive vindriktningssektor.



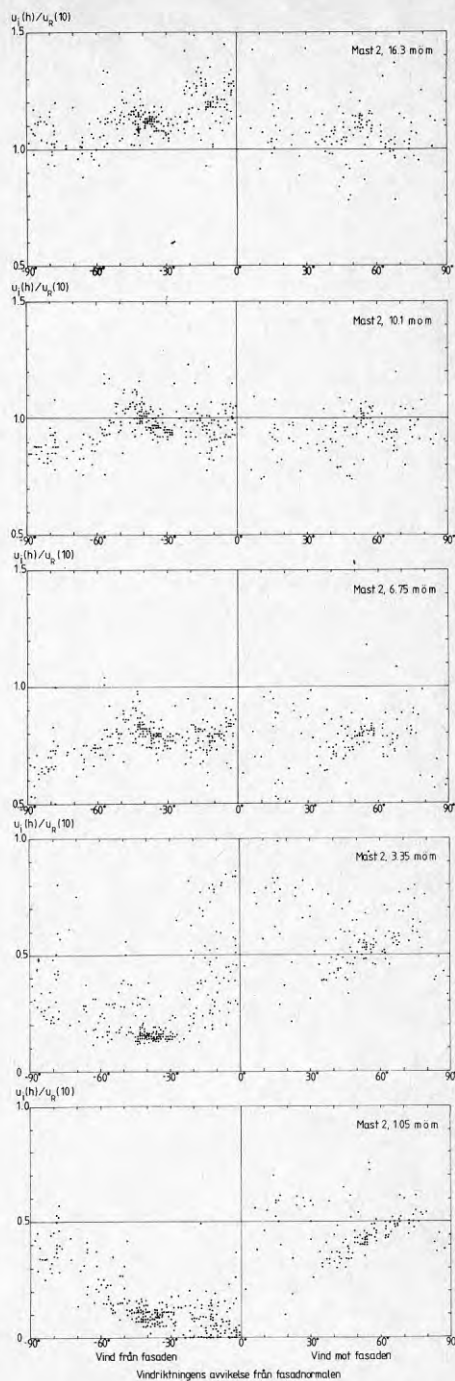
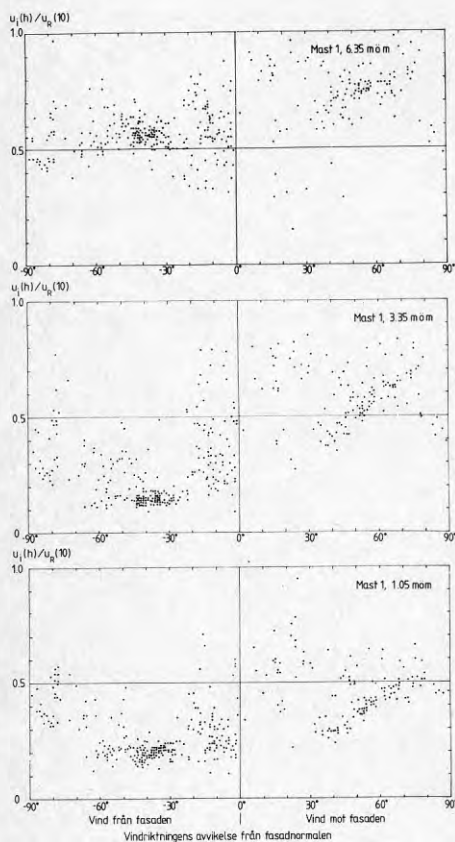
FIGUR 11. Korrelationen ( $R$ ) mellan tiominutersmedelvärden av vindhastighet i referensmasten och på olika nivå i mast 1 och 2. Data för respektive vindriktningssektor.



FIGUR 12. Spridningen i vindhastighet (tiominutersmedelvärden) för respektive vindriktningssektor relativt sektormedelvärde av vindhastighet på olika höjd över marken.



FIGUR 13. Uppmätta värden på kvoten mellan vindhastigheten på olika nivåer under och över taknivån på 4 m avstånd från fasaden och i referenspunkten 10 m ö m vid olika anblåsningsriktning mot fasaden.



Resultaten i figur 13 visar sammanfattningsvis följande beträffande hastighetskvoten  $u_i(h)/u_R(10)$ :

- Kvoten visar ett tydligt riktningsberoende i skiktet under taknivån.
- Vid negativa vinklar har kvoten ett minimum (maximal läverkan) vid vindriktning inom  $45^\circ$  från fasadnormalen. På halva fasadhöjden (3.35 m) finns en tendens till ett mer avgränsat minimum i intervallet  $25^\circ$ – $45^\circ$  från normalen. Läverkan är något kraftigare mitt på fasaden än nära hörnet.
- Vid anblåsning mot fasaden (positiva vinklar) antar kvoten maximala värden under taknivån vid flack anblåsning (vinklar omkring  $70^\circ$ ). En tendens till maximivärden tycks finnas även vid nära vinkelrät anblåsning, se dock under c nedan.
- Nära taknivån och närmast därovanför (6.35, 6.75, 10.1 m) är kvotens riktningsberoende det omvända mot under taknivån vid vind från fasaden.
- För en viss riktning visar kvoten större spridning under taknivån än över. Spridningen är speciellt stor vid riktningar nära normalriktningen (appr.  $-30^\circ$  –  $+40^\circ$ ).

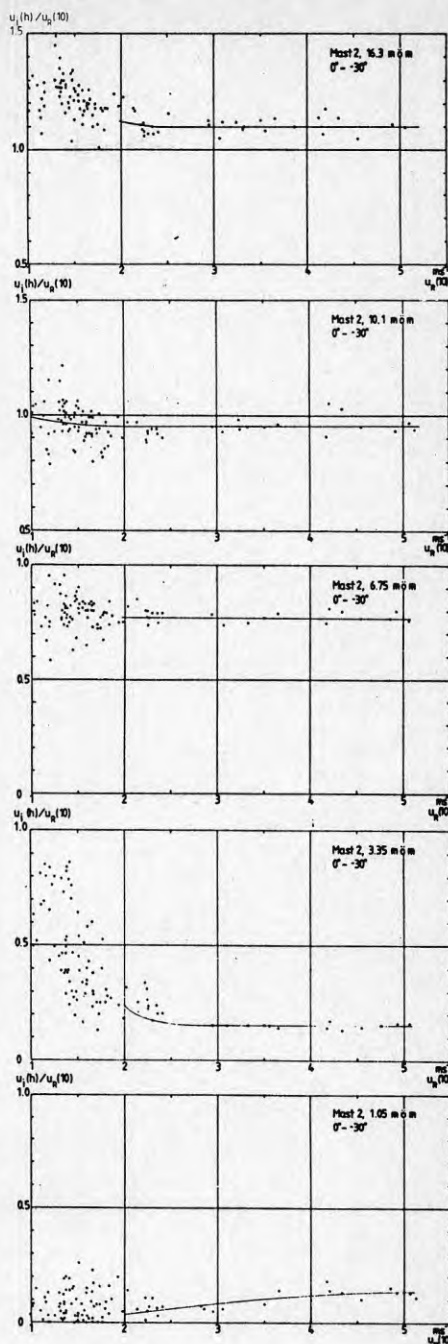
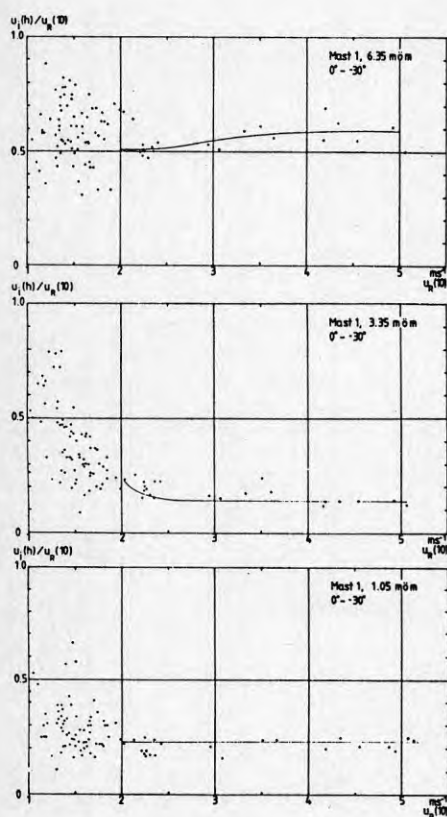
c. Den relativa vindhastighetens hastighetsberoende

Hastighetskvoten är enligt figur 13 relativt väldefinierad inom vissa riktningssektorer (appr.  $-65^\circ$  –  $-30^\circ$ ,  $40^\circ$  –  $80^\circ$ ). Däremot är kvoten mycket varierande vid riktningar inom intervallet  $-30^\circ$  –  $+40^\circ$ . En granskning av materialet visar att vindhastigheten ( $u_R(10)$ ) genomgående överstigit  $1.5 \text{ ms}^{-1}$  i samband med riktningar i de förstnämnda sektorerna. I den sistnämnda sektorn var däremot vindhastigheten i flertalet fall  $< 2 \text{ ms}^{-1}$ . Betydelsen av detta förhållande har undersökts närmare genom att plotta kvoten  $u_i(h)/u_R(10)$  som funktion av referenshastigheten  $u_R(10)$  för riktningar nära normalriktningen. Härvid har en uppdelning gjorts i fall med vind mot fasaden ( $0^\circ$  –  $+40^\circ$ ) och vind från fasaden ( $-30^\circ$  –  $0^\circ$ ). Resultaten visas i figurerna 14 och 15. Härur framgår (figur 14) att vind från fasaden konvergerar kvoten på alla nivåer mot ett lågt och nära konstant värde vid vindhastigheter över ca  $2 \text{ ms}^{-1}$ . Vid lägre hastigheter ökar kvoten däremot snabbt, speciellt under taknivån, samtidigt som kvotens värde blir starkt varierande. (Hastighetsområdet i figuren har av layout-skäl begränsats till  $u_R > 1 \text{ ms}^{-1}$ . Inom sektorn  $-30^\circ$  –  $0^\circ$  förekom endast ett fåtal fall med  $u_R < 1 \text{ ms}^{-1}$ ).

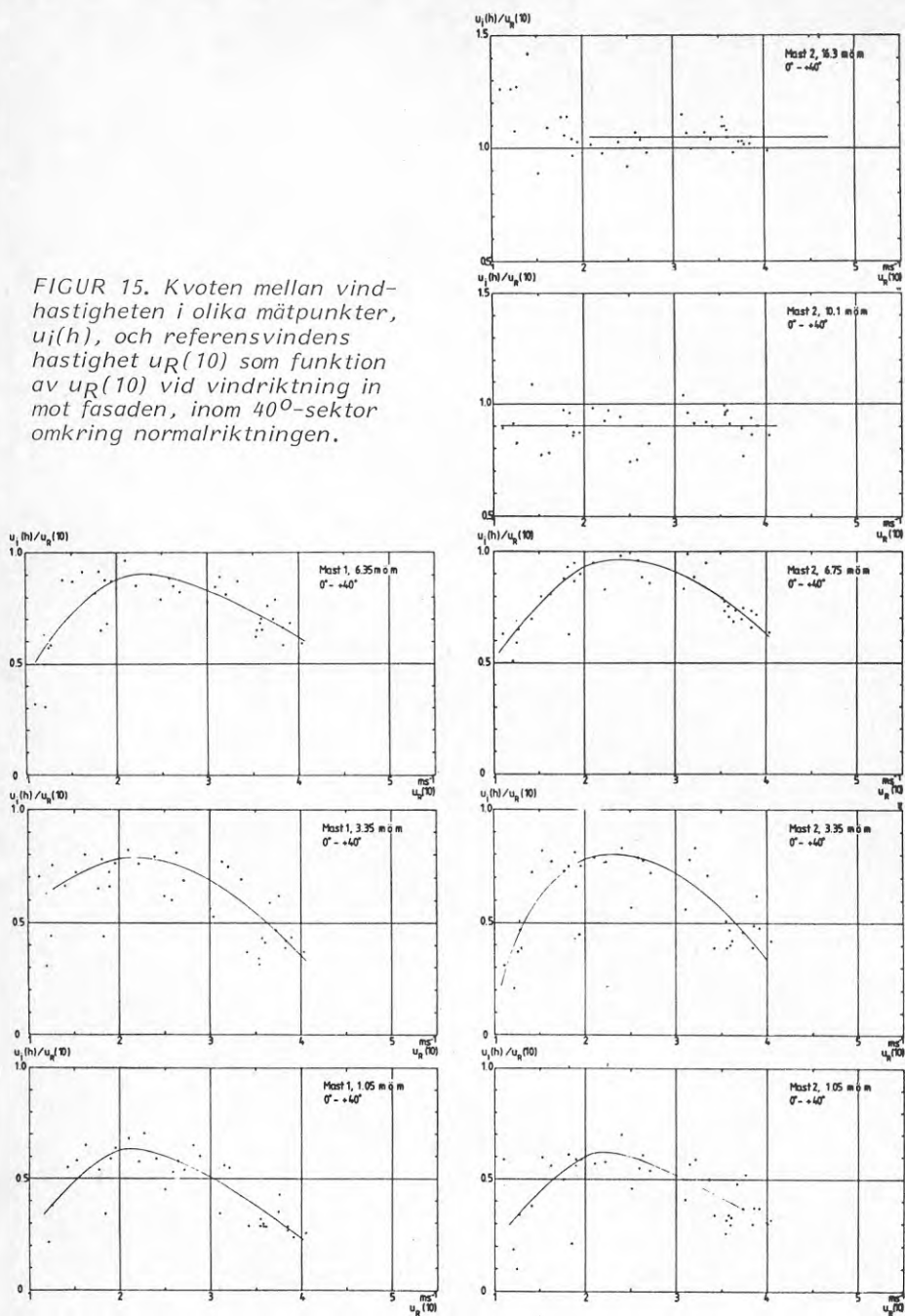
Vid anblåsning mot fasaden ( $0^\circ$  –  $+40^\circ$ ) uppvisar hastighetskvoten ett helt annat hastighetsberoende, se figur 15. Vid och under taknivå finns i samtliga punkter en tendens till maximum vid vindhastigheter i intervallet  $2$ – $2.5 \text{ ms}^{-1}$ . Över taknivå (10.1 och 16.3 m) är däremot denna tendens försvunnen och kvoten är i medeltal approximativt oberoende av vindhastigheten.

I figurerna 14 och 15 har inlagts kurvor enbart för att förtydliga det sannolika hastighetsberoendet. Kurvorna representerar däremot ej några regressionssamband.

FIGUR 14. Kvoten mellan vindhastigheten i olika mätpunkter,  $u_i(h)$ , och referensvindens hastighet  $u_R(10)$  som funktion av  $u_R(10)$  vid vindriktning bort från fasaden, inom  $30^\circ$ -sektor omkring normalriktningen.



FIGUR 15. Kvoten mellan vindhastigheten i olika mätpunkter,  $u_i(h)$ , och referensvindens hastighet  $u_R(10)$  som funktion av  $u_R(10)$  vid vindriktning in mot fasaden, inom  $40^\circ$ -sektor omkring normalriktningen.



Som framgått ovan (figur 10) är vindprofilen ovanför taknivån i medeltal över alla hastigheter praktiskt taget identisk vid vindriktningar i en sektor snett mot respektive från fasaden. Figurerna 14 och 15 tyder dock på att vid vindhastigheter  $\gtrsim 2 \text{ ms}^{-1}$ , då strömningen är väldefinierad, blir hastigheten på 10.1 och 16.3 m nivåerna ca 5% högre vid vind från fasaden ( $-30^\circ - 0^\circ$ ) än vid vind mot fasaden ( $0^\circ - +40^\circ$ ).

#### 4.2.3 Turbulenta vindfluktuationer intill byggnaden

Under fas II av mätningarna registrerades, som framgått i avsnitt 3.3, data från varje givare var 12:e sekund under 4-minutersperioder. Antalet mätpunkter utomhus var reducerat jämfört med fas I (se 3.3.2). På grund av de vindförhållanden, som rådde under fas II, omfattar bearbetningen i det följande endast vindriktningsspektorn  $210^\circ - 320^\circ$  (motsvarande riktningar  $0 - -72^\circ$  från fasadnormalen).

Bearbetningen omfattar följande moment:

- Vindhastighetens standardavvikelse under fyraminutersperioder som funktion av vindhastigheten, dels i referenspunkten, figur 16, dels på 3.35 m ö m intill fasaden och på 16.3 m ö m ovanför taknivån, figur 17.
- Samband mellan vindhastighetens standardavvikelse i referenspunkten och på 16.3 m respektive 3.35 m ö m, figurerna 18 och 19.
- Vindriktningens standardavvikelse under fyraminutersperioder, dels i referenspunkten dels på 3.35 m ö m framför fasaden, figur 20.

##### a. *Turbulenta hastighetsfluktuationer intill och ovanför byggnaden*

Kvoten mellan vindhastighetens standardavvikelse,  $\sigma$ , och medelvärde,  $\bar{u}$ , används ofta som ett förenklat mått på turbulensintensiteten,  $i$ . (Alternativt kan  $i$  definieras som  $\sigma_u^2/\bar{u}$ ).

$$i = \frac{\sigma_u}{\bar{u}} \quad (4.6)$$

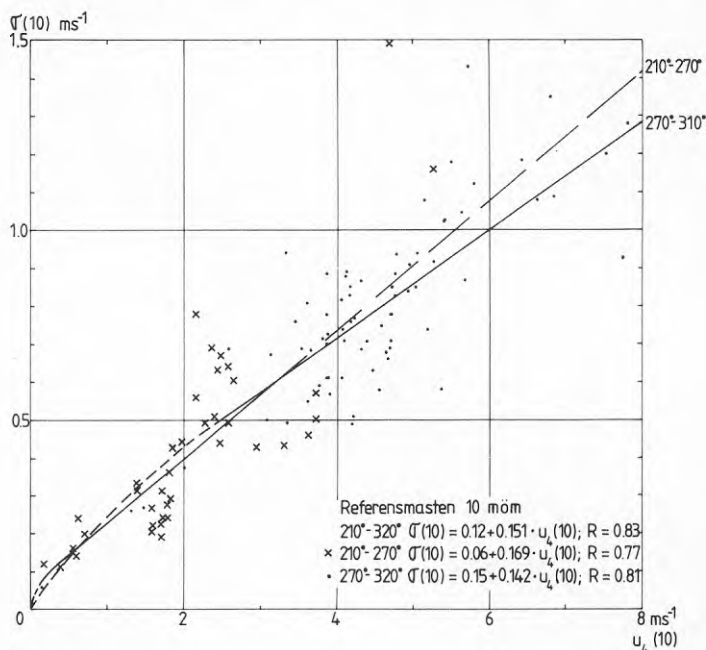
Under stationära förhållanden beror den uppmätta turbulensintensiteten av samplingsperiodens längd,  $\tau$ , samt av instrumentets känslighet (distanskonstant,  $\delta$ ). I det aktuella fallet är  $\tau = 4 \text{ min}$  och  $\delta \approx 1 \text{ m}$ . Data registrerades var 12:e sekund för varje givare, varför  $\sigma$ - och  $\bar{u}$ -värdena bygger på 20 mätvärden under varje fyraminutersperiod.

Med den korta samplingsperiod och de högkänsliga givare, som använts här, representerar resultaten den vid ett visst tillfälle rådande turbulensgraden - eller "bygheten" - i luftströmningen.

I figur 16 har sambandet mellan uppmätta  $\sigma$ - och  $\bar{u}$ -värden redovisats för referensmasten, 10 m nivå. I figuren särskiljes vindriktningar i sektorn  $210^\circ - 270^\circ$ , där strömningen eventuellt kan vara störd av byggnaden, och sektorn  $270^\circ - 320^\circ$ , där masten är fritt exponerad. Någon påverkan från byggnaden kan dock ej fastställas. De medelvindhastigheter, som förekom i samband med



riktningar inom respektive sektor, ligger inom i huvudsak åtskilda hastighetsintervall. Vidare är spridningen för stor för att skillnaden i de beräknade regressionssambanden skall kunna betraktas som signifikant. I fortsättningen har därför ingen uppdelning gjorts i olika delsektorer.



FIGUR 16. Vindhastighetens standardavvikelse vid olika medelvindhastighet under fyraminutersperioder.

Vindriktningar:  $210^{\circ}-320^{\circ}$

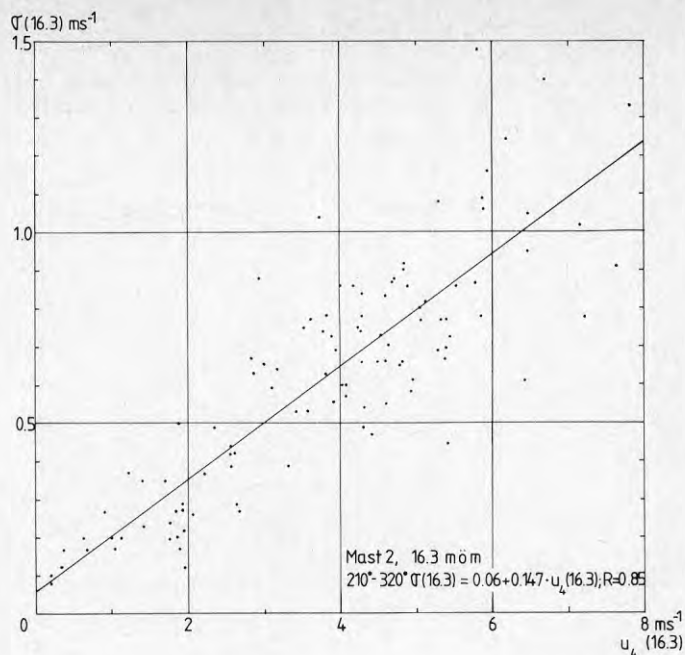
Korrelationskoefficienten i figur 16 är ca 0.8 för båda delsektorerna och för hela sektorn  $210^{\circ}-320^{\circ}$ . Vindhastighetsberoendet förklarar alltså ca 65% av variansen i  $\sigma$ -värdena. Den resterande variansen beror troligen främst på stabilitetsskillnader i marknära luftskikt från fall till fall. Materialet medger dock ingen närmare analys på denna punkt.

Figur 16 tyder på att den *genomsnittliga turbulensintensiteten* kan approximeras med ett konstant värde vid vindhastigheter över ca  $1 \text{ ms}^{-1}$ ,

$$\bar{i} = \frac{\sigma_u}{\bar{u}} \approx 0.15 \quad (4.7)$$

Representativiteten hos detta värde är osäker med hänsyn till den korta period, som mätningarna omfattar. De rådande väderförhållandena under mätperioden var dock ej extrema för årstiden.



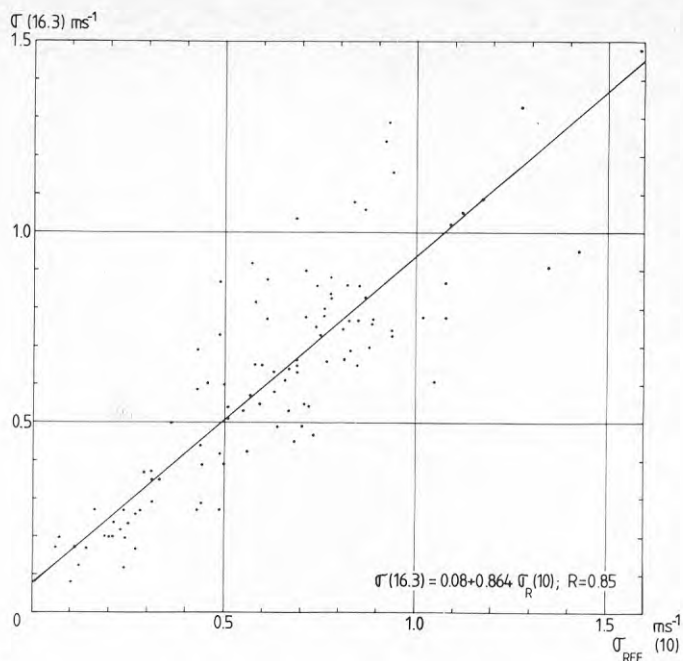


FIGUR 17. Vindhastighetens standardavvikelse vid olika medelvindhastighet under fyraminutersperioder.

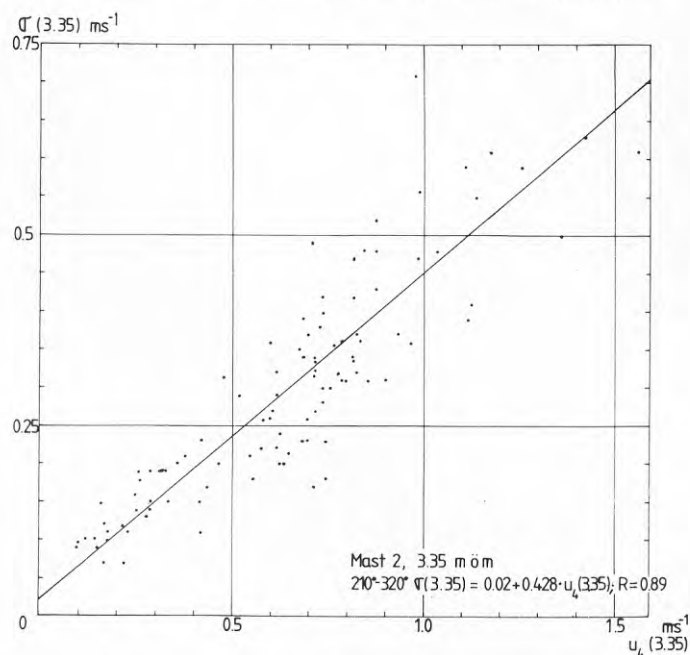
Vindriktningar: 210–320°

I figur 17 visas motsvarande resultat för mast 2, nivån 16.3 m ö m. Jämförelse med figur 16 visar att sambandet mellan  $\sigma$  och  $\bar{u}$  är praktiskt taget detsamma som på 10 m nivån. Även i detta fall erhålles en genomsnittlig turbulensintensitet  $\bar{i} \approx 0.15$ .

Ett något modifierat resultat erhålles när samhörande  $\sigma_{\bar{u}}$ -värden (dvs för samma fyraminutersperiod) på 10 och 16.3 m relateras till varandra, se figur 18. Avvikelsen från en 1:1-relation är knappast signifikant med hänsyn till punkternas spridning. Däremot är denna spridning i sig själv av visst intresse med tanke på det korta horisontella och vertikala avståndet mellan mätpunkterna. Resultatet återspeglar effekten av vindbyarnas begränsade utsträckning i rummet och innebär i korthet att de kortvariga hastighetsfluktuationerna i de båda punkterna i stor utsträckning är okorrelerade.

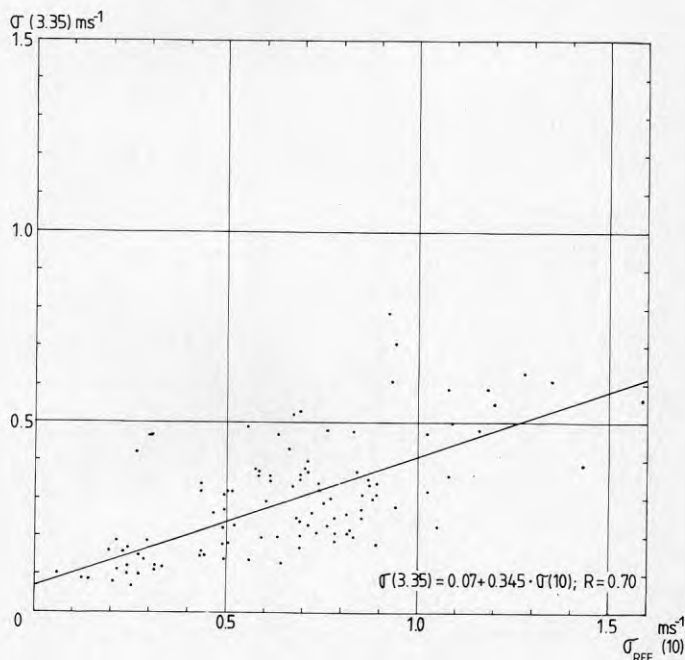


FIGUR 18. Vindhastighetens standarddeviation på 10.0 och 16.3 m ö m, vindriktningar  $210^{\circ}$ – $320^{\circ}$ . Samplingsperiod: 4 minuter.



FIGUR 19. Vindhastighetens standardavvikelse vid olika medelvindhastighet under 4-minutersperioder. Vindriktningar  $210^{\circ}$ – $320^{\circ}$ .

Sambandet mellan  $\sigma_U$  och  $\bar{u}$  på 3.35 m nivån nära byggnaden framgår av figur 19. Även här kan sambandet uttryckas med en linjär relation. Korrelationen är dock svagare och vindhastighetsberoendet svarar endast för ca 50% av variansen i  $\sigma$ -värdena. Turbulensintensiteten är betydligt högre, ca 0.35, vilket återspeglar effekten av virvelbildning i lä av byggnaden. Samtidigt är dock vindhastigheten absolut sett starkt reducerad och  $\sigma_U$ -värdena blir endast ca hälften så stora som i referenspunkten, se figur 20.

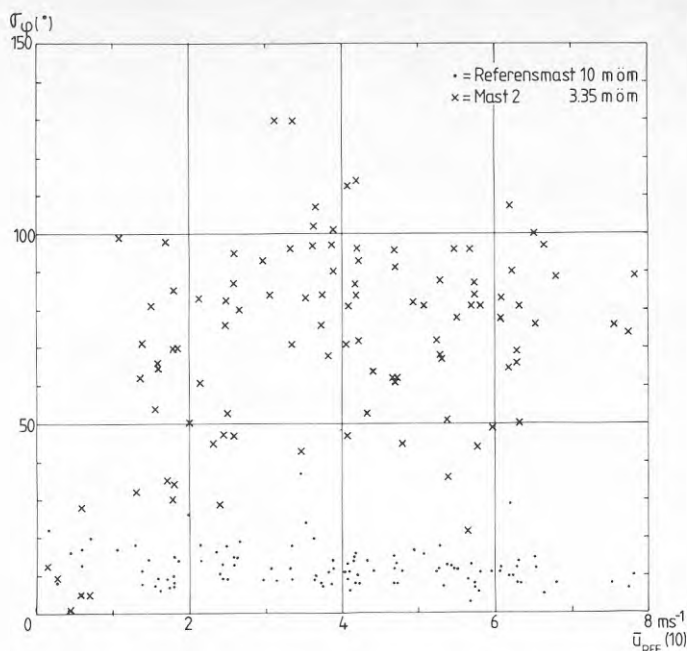


FIGUR 20. Vindhastighetens standarddeviation på 3.35 och 10 m ö m, vindriktningar 210–320°.

Samplingsperiod: 4 min

#### b. Turbulenta vindriktningsfluktuationer i lä av byggnaden

Som redan framgått i avsnitt 4.2.1 blir vindriktningen starkt fluktuerande nära byggnaden både vid vind mot och från fasaden. Byggnadens inverkan på fluktuationerna i vindriktning framgår ytterligare något ur figur 21. I figuren visas  $\sigma_\varphi$ -värden av vindriktningen på 10 m ö m i referenspunkten och på 3.35 m ö m intill byggnaden som funktion av referensvindens hastighet. Liksom under a ovan avser resultaten samplingsperioden fyra minuter.



FIGUR 21. Vindriktningens standardavvikelse under fyraminutersperioder intill fasaden (3.35 m) och i referenspunkten (10 m) som funktion av medelvindhastigheten i referenspunkten.

Vindriktningar: 210–320°

$\sigma_\phi$ -värdena för referensvinden är väl samlade i intervallet 5–20° med en svag tendens till avtagande värden med ökande vindhastighet. Den korta samplingsperioden (fyra minuter) gör att värdena endast representerar en del av de riktningsfluktuationer, som förekommer i den ostörda vinden. Härigenom blir  $\sigma_\phi$ -värdena relativt små.

När referensvindens hastighet är  $\lesssim 1 \text{ ms}^{-1}$  tycks  $\sigma_\phi$ -värdena intill fasaden vara av samma storleksordning som för referensvindriktningen. Detta kan delvis vara en effekt av vindfanans tröghet. Vindhastigheten invid fasaden är dock vid de aktuella vindriktningarna endast obetydligt svagare än referenspunkten. Från och med vindhastigheter  $\gtrsim 1.5 \text{ ms}^{-1}$  visar  $\sigma_\phi$ -värdena en stor och slumpmässig spridning omkring ett medelvärde på ca 75°. Detta innebär alltså att under vissa fyraminutersperioder kan vindriktningen vara relativt väldefinierad ( $\sigma_\phi \sim 40^\circ$ ) medan den under andra perioder med samma referensvindhastighet fluktuerar mer än dubbelt så kraftigt ( $\sigma_\phi \sim 100^\circ$ ).

Variabiliteten i  $\sigma_\phi$ -värdena för 3.35 m nivån har analyserats ytterligare dels med avseende på ett eventuellt samband med vindriktningen inom sektorn 210°–320°, dels med avseende på ett eventuellt stabilitetsberoende. Några tydliga samband har dock inte kunnat påvisas. En viss tendens kan möjligen finnas till lägre  $\sigma_\phi$ -värden vid stabil skiktning (PT=5–7) än vid instabil skiktning (PT=3).

#### 4.2 Utetemperatur

Den s k "urbana värmeön" - dvs en systematisk höjning av lufttemperaturen i bebyggelse under vissa väderbetingelser - är ett välkänt fenomen, som dokumenterats i bebyggelsekoncentrationer av alla storlekar. Effekten innebär bl a att luftens avkylning nattetid går långsammare i skiktet under hustaksnivå än över öppen, obebyggd mark. Även under dagtid förekommer en viss, mindre temperaturpåverkan, som även kan vara negativ i vissa fall.

Mätningarna vid Motorcentrum erbjöd ett tillfälle att studera förändringen av temperaturen intill en enstaka byggnad med fritt läge i en mycket gles bebyggelsestruktur. Den allmänna temperaturförändringen, som kan förväntas i denna typ av bebyggelse, är mycket liten. Däremot kan i byggnadens omedelbara närhet vid svag vind och klar himmel en mera markerad påverkan förväntas p g a lokalt ändrade in- och utstrålningsbetingelser.

De väderförhållanden, som rådde under mätningarna - mulet och/eller blåst - eliminerade i mycket stor utsträckning de rent byggnadsknutna temperatureffekterna. Trots detta kan en svag men ändå tydlig effekt påvisas i enstaka fall och även i genomsnittsförhållandena under mätperioden.

##### a. Genomsnittlig temperaturpåverkan under mätperioden

Temperaturerna i de olika mätpunkterna intill fasaden och över taknivån (mast 1 och 2) har relaterats till temperaturen i referensmasten genom lineär regression, baserad på tiominutersmedelvärden från fas 1 av mätningarna. Temperaturen varierade mellan -1 och +13°C under mätperioden med en kraftig koncentration (ca 60% av tiden) i intervallet +1 - +3°C. Regressionsuttrycket är,

$$T_i(h) = a + b \cdot T_{REF} \quad (4.8)$$

där

$h$  = mätnivå

$i$  = mast 1 respektive 2

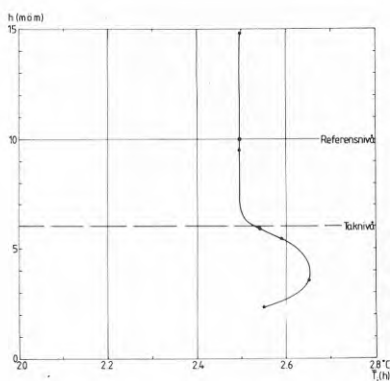
Resultaten visar, såsom framgår ur nedanstående tabell, ett mycket nära samband för samtliga punkter.

Mätpunkt	a	b	korr.	$\bar{T}$ (°C)
$T_1$ (3.55)	-0.05	1.049	0.993	2.65
$T_1$ (5.45)	-0.01	1.066	0.990	2.59
$T_2$ (2.35)	0.04	1.018	0.994	2.55
$T_2$ (5.90)	-0.12	1.060	0.995	2.49
$T_2$ (9.52)	-0.02	1.009	0.999	2.47
$T_2$ (14.8)	0.03	0.992	0.999	2.48

Referenstemperaturens medelvärde för perioden,  $\bar{T}_{REF} = 2.47^{\circ}\text{C}$ .

Korrelationen är genomgående  $\gtrsim 0.99$ . Variansen i respektive mät-punkt förklaras alltså till minst 98% av variansen i referens-temperaturen.

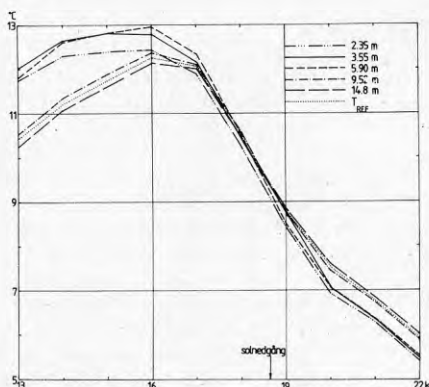
Trots denna mycket nära överensstämmelse visar medelvärdena för mätperioden en tydlig påverkan av byggnaden, såsom framgår ur figur 22, med en temperaturförhöjning intill byggnaden (4 m från väggen) på upp till  $0.15^{\circ}\text{C}$  i medeltal. Det maximum i profilen, som uppträder på halva hushöjden, är dock något överraskande och svårförklarligt.



FIGUR 22. Medeltemperaturprofil under mätperioden, fas 1. Mätpunkter intill fasaden, över tak samt i referensmasten.



Mätningarna innehåller endast ett fåtal timmar med klar eller nästan klar himmel, då lokalt ändrade in- och utstrålningsbetingelser kan ge en märkbar temperaturpåverkan. Under en dag, den 6 april, rådde halvklart väder under förmiddagen och nästan klart väder under eftermiddagen och kvällen. Vinden var dock frisk - omkring  $5 \text{ ms}^{-1}$  mitt på dagen, avtagande till ca  $3 \text{ ms}^{-1}$  under kvällen.



FIGUR 23. Temperaturförloppet under eftermiddagen och kvällen den 6 april 1980.

#### Väder

Molnighet: 1-2/8 medelhöga och höga moln

Vind: VNV  $3-5 \text{ ms}^{-1}$

I figur 23 visas temperaturförloppet under eftermiddagen och kvällen den 6 april. Som framgår ur figuren råder mitt på dagen en temperaturförhöjning på  $1-1.5^\circ\text{C}$  i mätpunkterna under taknivå nära väggen. Fasaden har varit solbelyst tidigare under dagen, fram till ca kl 11. Värmeavgivningen genom strålning och konvektion från den tidigare solbelysta väggen är tydligen tillräcklig för att höja lufttemperaturen fram till ca kl 17, dvs under närmare sex timmar efter det att väggen hamnat i skugga. En närmare granskning av figuren visar att det fram till kl 17 även i detta fall finns en tendens till maximum i temperaturprofilen på eller ovanför ca halva hushöjden.

Avkylningsförloppet efter kl 17 är ej - såsom kunde ha förväntats - långsammare intill väggen. På de högre nivåerna 9.5, 10 och 14.8 m sker avkylningen däremot långsammare, varigenom en svag temperaturinversion utbildas, trots att vindhastigheten fortfarande var ca  $3 \text{ ms}^{-1}$  på 10 m nivå. Uppkomsten av en temperaturinversion i lägsta skikt bekräftar den tidigare slutsatsen att bebyggelsen omkring Motorcentrum är alltför gles för att orsaka någon egentlig värmeö-effekt.

## LITTERATUR

- [1] *Belin, K. m fl, 1982, Energisparande vid användande av luftridå. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R86:1982, Stockholm.*
- [2] *Kvick, T., Karlström, C., 1977, Sammanställning av vindstatistik för projektet Vindenergiprospektering, del I. (SMHI.) Norrköping.*
- [3] *Ring, S., Olsson, L., Ljungkvist, S., 1973, Undersökning av "Pasquill-Turner"-klasser. Intern rapport (SMHI.) Norrköping.*
- [4] *Smedman, A-S., Högström, U., 1978, A practical method for determining wind frequency distributions for the lowest 200 metres from routine meteorological data. Journal of Applied Meteorology, 17. (Am. Met. Soc.) Boston.*
- [5] *Taesler, R., 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens institut för byggnadsforskning.) Stockholm.*
- [6] *Taesler, R., 1981, Urban meteorological studies in Uppsala. (Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet.) Uppsala.*
- [7] *Taesler, R., 1983, Klimatförutsättningar för bebyggelseplanering och energihushållning i Svärtinge. Utredning utförd på uppdrag av Norrköpings kommun. Rapport 1983:14. (SMHI, Klimatsektionen.) Norrköping.*

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831406-6  
från Statens råd för byggnadsforskning till AB Bahco Ventilation och  
SMHI, Norrköping.

R98: 1986

ISBN 91-540-4623-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706098

Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer

Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm

Cirka pris: 30 kr exkl moms